


FONDO PIZZOFALCONE


BIBLIOTECA PROVINCIALE
Armadio XV
Palchetto 76
Num.° d' ordine 5



ESSAI

D'UN

COURS ÉLÉMENTAIRE ET GÉNÉRAL

DES

SCIENCES PHYSIQUES.

De l'Imprimerie d'Abel Lanoe, rue de la Harpe, n°. 78.

Tous les exemplaires du présent ouvrage porteront comme ci-dessous la signature de l'auteur.

SIGNATURE.

ESSAI

D'UN

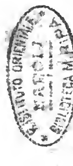
COURS ÉLÉMENTAIRE ET GÉNÉRAL

DES

SCIENCES PHYSIQUES;

PAR F.-S. BEUDANT,

Sous-Directeur du Cabinet de Minéralogie particulier du Roi, Professeur de Physique en l'Université Royale, Membre ou Correspondant de diverses Sociétés savantes.



Tout porte la marque divine dans l'univers.......................... tout nous montre un dessein suivi, un enchaînement de causes subalternes conduites avec ordre par une cause supérieure.

FÉNÉLON.

PARTIE PHYSIQUE.



A PARIS,

CHEZ MM. TILLIARD, FRÈRES, Libraires de S. M. le Roi de Prusse, rue Hautefeuille, n.° 22.
CROULLEBOIS, Lib., rue des Mathurins-S.-Jacques, n.° 17.
VERDIÈRE, Libraire, quai des Augustins, n.° 27.

1815.

Cet Ouvrage est la première partie d'un Traité élémentaire et général des Sciences physiques, que j'ai composé, il y a quelques années, à l'occasion des Cours dont j'ai été chargé. Les parties de Chimie et d'Histoire naturelle, qui y font suite, et qui se vendront chacune séparément, paraîtront bientôt, et successivement. J'espère que mon travail pourra être utile aux jeunes gens qui, en finissant leur éducation, donnent, chaque jour, quelques heures à l'étude des Sciences exactes.

Bien convaincu que les Cours de Sciences qui sont ordonnés dans les colléges royaux, ont moins pour objet de faire des savans, que de préparer les jeunes gens à entrer dans le monde et à y prendre un état, je me suis toujours moins attaché, dans mes leçons, à faire approfondir aux Élèves telle ou telle partie des Sciences physiques, qu'à leur exposer les principes fondamentaux qui pouvaient leur servir de guide dans la suite, soit pour se former à eux-mêmes

des occupations agréables et utiles, soit pour éclairer leurs travaux et leurs spéculations, de quelque genre qu'ils puissent être.

J'ai cherché à faire contracter aux jeunes gens l'habitude d'observer, et à cet effet j'ai toujours commencé, autant que possible, dans chaque article, par fixer leur attention sur les phénomènes qu'ils rencontrent à chaque pas, au milieu même de leurs jeux. J'ai expliqué ces phénomènes, et j'ai fait voir comment ils se lient avec ceux qui se présentent moins communément.

Relativement aux sujets qui exigent des expériences et des recherches particulières, j'ai tâché d'habituer les jeunes gens à construire eux-mêmes, à peu de frais et avec tout ce qui se trouve habituellement sous leurs mains, tous les appareils propres à remplir leur objet, comme étant le seul moyen de faire, dans tous les temps, dans tous les lieux, un grand nombre de recherches, qui seraient souvent impossibles s'il fallait employer les appareils dispendieux qui brillent dans les cabinets de physique.

J'ai toujours eu soin d'éveiller l'attention des jeunes gens sur les diverses applications des sciences aux arts et aux usages de la vie, dont je me suis attaché à rassembler un grand nombre d'exemples. J'ai cité aussi les résultats les plus saillans de l'application du calcul aux diverses branches que j'ai eu successivement à traiter ; et sans dissimuler tout

ce que ces applications laissent souvent à desirer, j'ai cherché à en faire sentir l'importance dans une multitude de cas. Cependant je me suis souvent dispensé de donner les démonstrations, d'abord, parce qu'elles sont quelquefois d'une analyse trop élevée, ensuite parce que je crois qu'il est plus utile, dans un Cours élémentaire, de présenter des preuves palpables, tirées de quelques expériences faciles à faire, dont on peut trouver des exemples à chaque pas, que des formules élégantes qui ne renferment pas toujours toutes les données du problème, et sont la plupart du temps inintelligibles pour les élèves.

Tels sont les principes qui m'ont dirigé dans mes Cours, et ceux que j'ai suivis dans cet Ouvrage. Il suffira de parcourir la Table analytique qui est en tête de cette première partie, pour se former une idée plus exacte du plan que j'y ai suivi, que celle que je pourrais en donner en l'exposant brièvement ici. Cette Table sera utile aux jeunes gens pour repasser ce qu'ils auront étudié. La Table alphabétique qui se trouve à la fin est assez étendue et présentée sous assez d'aspects différens, pour qu'on puisse retrouver promptement l'endroit de l'ouvrage où il est traité de l'objet qu'on cherche.

Je sais qu'il existe un grand nombre de Traités élémentaires de Sciences physiques; plusieurs même sont destinés à la jeunesse. Mais celui que je présente est, en général, rédigé sur un plan différent.

que j'ai cru propre à faciliter l'étude. L'adoption de ce plan m'a conduit à décrire beaucoup de faits intéressans qui ne font pas ordinairement partie des Cours de physique, et dont, j'espère, on me saura quelque gré.

Au reste, il ne m'appartient pas de faire l'apologie de mon ouvrage, encore moins de critiquer celui des autres, dont je suis loin de mettre en doute le mérite. Je laisse aux lecteurs à juger si j'ai rempli le but d'instruction que je me suis proposé, et je recevrai avec reconnaissance les critiques judicieuses pour en profiter, si mon livre obtient les honneurs d'une seconde édition.

TABLE ANALYTIQUE

DE LA

PARTIE PHYSIQUE.

LIVRE PREMIER.

NOTIONS PRÉLIMINAIRES ET PHÉNOMÈNES GÉNÉRAUX.

LIVRE DEUXIÈME.

DES CORPS SOLIDES.

I.re SECT. *Propriétés de ces corps.*

LIVRE TROISIÈME.

CORPS LIQUIDES.

I.re SECT. *Propriétés des corps liquides.*

LIVRE QUATRIÈME.

FLUIDES AÉRIFORMES, OU GAZ.

I.re SECT. *Propriétés de ces corps.*

LIVRE CINQUIÈME.

DU CALORIQUE.

LIVRE SIXIEME.

LIVRE SEPTIÈME.

DE L'ÉLECTRICITÉ.

LIVRE HUITIÈME.

DU MAGNÉTISME.

ADDITIONS.

FIN DE LA TABLE ANALYTIQUE.

FAUTES ESSENTIELLES A CORRIGER.

Pag.	*Lig.*	
7	9	les mouvemens..., *lisez* le mouvement...
11	9 et 13.	en sens contraire, *lisez* en sens contraires.
12	27.	Même faute.
14	20.	*Supprimez le signe* = qui est avant CD.
43	*Lig. dernière.*	Du corps, *lisez* des corps.
57	6.	*Effacez le mot* plus.
61	*Lig.* 3 *de la* 2.ᵉ *note.*	écartées, *lisez* écartés.
77	8.	diverse, *lisez* diverses.
83	*Lig. avant-dernière.*	ont, *lisez* sont.
105	*Note.*	après Euphorbes, *ajoutez*, de l'urcéole élastique, etc. Toutes les plantes à suc laiteux en donnent plus ou moins.
125	13.	et il n'en est..., *lisez* mais il n'en est...
140.		Note, engrainage, *lisez* engrenage.
141	3.	en cylindre ou en prisme, à base...., *lisez* en cylindre, ou en prisme à base....
144	7.	qui rompt...., *lisez* qui rompe...
Ibid.	16.	mais cette certitnde...., *lisez* cette certitude...
175	2.	Suivent..., *lisez* succèdent...
210	23.	chargé, *lisez* chargée.
211	33.	*fig.* 99, *lisez fig.* 98.
219	4.	corps liquides, *lisez* corps solides.
227	*lig. avant-dernière.*	*fig.* 100, *lisez fig.* 108.
230	24.	Atteliers, *lisez* ateliers.
231	22.	Même fante.
235	*au titre.*	Corps flottans, *lisez* Ascension ou abaissement des liq. autour des corps.
245	17.	Vitesse, de l'écoulement..., *lisez* Vitesse de l'écoulement...
255	*note.*	M. Montgolfier, *ajoutez*, rue Pastourelle, n.° 5, à Paris.
271	1.	forces..., *lisez* faces...
274	3.	extérieurement..., *lisez* antérieurement...
285	19.	n.° 408, *lisez* n.° 410.
287	8.	en goutte..., *lisez* en gouttes...
291	23.	sur ses pas et le fluide reprendre..., *lisez* sur ses pas, et le fluide reprend...
Ibid.	*dernier alinéa.*	*mettez* une virgule après manière, et point et virgule après issue.
300	*Lig. avant-dernière.*	raréfaction..., *lisez* expansion...
312	1.	à Paris..., *lisez* au niveau de la mer.
315	24.	*mettez le signe* <, *au lieu de* >
320	1.	auront..., *lisez* ont...
321	4.	Aucun physicien moderne n'a parlé... *lis.* aucun physicien n'a expliqué complètement les résultats...

332 *Lig. avant dernière.* P" : : P"..., *lisez* P" : P".

337 8. $2 \log.(1 +) \frac{x}{a}$, *lisez* $2 \log.(+ \frac{x}{a})$

343 *Lig. dernière.* Chap. 4, *lisez* Chap. 5.

349 14. vibrer avec lui le son, qu'on obtient..., *lisez* vibrer avec lui, le son qu'on obtient...

410 26. *fig.* 167, *lisez* 171.

412 1. acquière..., *lisez* acquièrent...

434 22. lorsqu'on réduit..., *lisez* lorsqu'on a réduit...

451 25. élevé, *lisez* élevée.

487 26. ples loin, *lisez* plus loin.

494 20. ou puisse..., *lisez* on puisse...

554 34. on le frotte, *lisez* on les frotte.

555 *Supprimez* les lignes 19 et 20 après réservoir commun.

INTRODUCTION GÉNÉRALE.

Lorsque plusieurs sciences ont entr'elles une liaison très-intime, qu'elles se rencontrent et se confondent en plusieurs points, et qu'elles divergent considérablement dans d'autres, il est essentiel à celui qui les étudie d'acquérir des idées nettes sur les différences qu'elles peuvent avoir, et sur les points de contact qu'elles peuvent conserver. C'est ce qui nous a déterminé à placer ici un tableau comparatif des sciences mathématiques et des sciences physiques, dont les élémens font partie de l'éducation de la jeunesse, pour faire connaître les principaux traits qui les distinguent, comme ceux qui caractérisent leurs différentes divisions.

Les sciences mathématiques, faisant abstraction de la nature des corps, ont pour objet l'étude des rapports entre les grandeurs, prises idéalement, ou figurées dans l'espace de différentes manières, ou considérées dans les forces qui peuvent solliciter les corps.

Les sciences physiques ont pour objet l'étude de

la nature des corps et de leurs propriétés, ainsi que l'observation des divers phénomènes qui résultent de leurs actions réciproques.

Sciences Mathématiques.

Tantôt le mathématicien fait abstraction de l'espace et de toutes les qualités sensibles des corps, pour ne considérer que des grandeurs idéales, représentées par des lettres ou des signes particuliers, et examiner plus facilement les augmentations, les diminutions ou les combinaisons dont elles sont susceptibles; c'est ce qui constitue *l'arithmétique, l'algèbre, le calcul différentiel et intégral, le calcul des variations.*

Ailleurs, circonscrivant l'espace à son gré, le mathématicien examine les propriétés générales de l'étendue limitée et figurée de différentes manières. Il considère celles des diverses espèces de lignes, des surfaces de différentes formes; il étudie les circonstances de leurs rencontres mutuelles, ou bien il mesure ces lignes, ces surfaces, ainsi que les volumes que ces dernières comprennent. Ces considérations sont le sujet des recherches de la *géométrie*, de la *trigonométrie*, de l'*application de l'analyse générale à la géométrie*. Le géomètre, considérant aussi, dans l'espace, des figures diverses, cherche des procédés pour les représenter exactement sur des plans placés devant elles de différentes manières. C'est la méthode des projections, qu'on désigne en général sous le nom de *géométrie descriptive*.

Ces différentes branches de la science constituent ce qu'on nomme les *mathématiques pures ;* et quoiqu'elles conduisent à déterminer exactement les diverses proportions de la grandeur, considérées sous tous les aspects dans nos usages habituels, on doit remarquer qu'elles sont entièrement produites par notre entendement, n'empruntant tout au plus à l'observation que quelques idées très-générales et très-simples sur l'étendue et la figure des corps.

La division des *mathématiques appliquées* se lie plus intimement avec les sciences physiques. Le géomètre emprunte d'abord à l'observation la connaissance des propriétés que présentent les corps à l'état solide, à l'état liquide, et à l'état de fluide aériforme; il suppose ensuite des forces dont l'action a lieu en choquant, en tirant ou en poussant les corps, soit immédiatement, soit par l'intermède d'un autre corps. Il en déduit les lois de l'équilibre et du mouvement, et tout ce qui constitue la *mécanique rationnelle.*

Le géomètre étend aussi ses recherches aux mouvemens des corps sollicités par des forces dont le principe nous est encore inconnu, et qui ne se manifestent à nos sens que par les phénomènes qui en résultent. Tels sont les mouvemens produits par la gravitation universelle, par les attractions et répulsions électriques ou magnétiques; tels sont encore les mouvemens du calorique et de la lumière. Mais, pour établir ses calculs, le géomètre emprunte aux sciences physiques les lois qui existent entre les différens phé-

nomènes de même genre; c'est alors que les deux sciences acquièrent une liaison telle, qu'il est impossible de faire des progrès marqués dans l'une, sans avoir des connaissances très-étendues dans l'autre. L'expérience fournit des bases au calcul; et le calcul, par sa fécondité ordinaire, conduit, en partant d'une seule observation, à une multitude de conséquences qui devancent souvent les observations de même genre, ou leur donnent naissance. C'est ainsi que *l'astronomie*, *l'optique*, *l'acoustique*, etc., sont devenues des sciences qui appartiennent également au calcul et à l'observation.

Il résulte de ce simple exposé, que, si l'étude des mathématiques pures, ou au moins d'une partie, doit précéder l'étude des sciences physiques, pour donner de la justesse à notre esprit et nous éclairer dans notre marche, les sciences physiques, à leur tour, devraient précéder les mathématiques appliquées. Dans ce cas, le physicien doit avoir pour but de découvrir les rapports qui existent entre les différens phénomènes de même genre; par conséquent, dans l'étude de la nature, il faut toujours comparer soigneusement les diverses observations les unes avec les autres, pour découvrir leurs dépendances mutuelles, et les réunir en certains groupes autour de quelques phénomènes, dont chacun puisse être considéré comme le principe de tous ceux qui l'environnent.

Sciences physiques.

Le physicien, au milieu du nombre immense des objets sur lesquels il doit diriger ses recherches, fait aussi abstraction, soit de quelques parties de l'univers, pour examiner plus facilement les autres, soit des propriétés individuelles des corps, pour les considérer sous des rapports plus généraux, et n'arriver que petit à petit à les examiner séparément.

Les sciences physiques se partagent principalement en *astronomie, géographie, physique, chimie*, et *histoire naturelle.*

L'astronomie porte ses recherches sur les corps placés dans les espaces célestes; elle établit les preuves de la stabilité des uns, détermine leurs situations respectives, et examine les divers mouvemens des autres. Elle observe le temps d'une rotation complète du soleil ou des planètes sur eux-mêmes; la durée d'une révolution complète de chaque planète autour du soleil, et de celle des divers satellites (ou lunes) autour de leurs planètes; elle examine le genre de courbe que ces corps décrivent autour de leur centre de mouvement.

La comparaison de ces divers phénomènes conduit à la découverte de la *gravitation universelle* ou *attraction*, qui est la base de *l'astronomie mathématique.*

La géographie s'occupe de tout ce qui regarde

particulièrement le globe terrestre; elle se divise en plusieurs parties, savoir :

1.° *La géographie théorique ou mathématique* qui, partant des observations astronomiques, considère la terre comme un corps géométrique isolé dans l'espace, doué d'un mouvement continuel de rotation sur lui-même, et de révolution autour du soleil. Elle enseigne à fixer exactement, par l'observation des astres, la position des lieux qu'on peut parcourir, et, par conséquent, la situation relative des différens points de la surface terrestre; elle rappelle les principes mathématiques nécessaires à la levée des plans, et aux différentes projections des cartes géographiques.

2.° *La géographie physique*, qui, en prenant cette expression dans l'acception la plus étendue, se divise elle-même en deux branches. L'une traite de la conformation extérieure du terrein, détermine la figure des mers, les contours des terres qui en forment le bassin, la position des îles, celle des montagnes, leur direction, leurs pentes, leur configuration extérieure; et, par suite, la forme des plaines, la direction des vallées et des rivières.

L'autre partie de la géographie physique traite de la constitution du terrein, de la nature et de la position respective des différentes couches minérales. Cette partie, qui reçoit particulièrement le nom de *géognosie*, rentre dans le domaine de l'histoire naturelle, ainsi que celle qui traite de la distribution des es-

pèces d'animaux et de végétaux, sous les divers climats.

3.° *La géographie historique, civile et politique*, tient particulièrement à l'histoire des peuples qui se sont succédés dans les diverses contrées, ou qui y sont actuellement établis : elle traite des mœurs, de l'industrie et des différentes relations que les peuples peuvent avoir les uns avec les autres.

La physique, la chimie, et l'histoire naturelle, s'occupent de tout ce qui a rapport aux différens corps qui se trouvent à la surface, ou dans l'intérieur de la terre.

La physique faisant abstraction de la composition des corps et de leurs propriétés individuelles, laissant à l'histoire naturelle tout ce qui est relatif à la structure et aux fonctions des corps organisés, considère les propriétés les plus générales que présentent les matières inertes à l'état solide, à l'état liquide, à l'état de fluide aériforme, et à celui de fluide incoërcible. Elle examine les actions mécaniques que ces corps, sous ces différens états, exercent les uns sur les autres, et les différens phénomènes qu'ils présentent dans leurs mouvemens.

La chimie s'occupe de la recherche des principes constituans des corps; elle examine les propriétés particulières de chacun des *élémens* (ou corps simples) qui les composent; elle examine les combinaisons que ces élémens peuvent former les uns avec les autres, et les actions qu'ils peuvent avoir sur tel ou tel corps

composé. Elle étudie les actions réciproques que les corps composés peuvent avoir eux-mêmes les uns sur les autres, pour former des combinaisons nouvelles.

La chimie prend les surnoms de *minérale*, *végétale* ou *animale*, suivant qu'elle porte ses recherches sur l'un ou l'autre des trois règnes de la nature.

L'histoire naturelle étudie les formes et les diverses propriétés que présentent chacun des corps qui existent à la surface, ou dans l'intérieur de la terre. Elle examine la structure des corps dépourvus de l'organisation nécessaire aux fonctions vitales; elle étudie l'organisation et les fonctions des êtres vivans; elle s'occupe des diverses classifications qui peuvent faciliter l'étude des corps, et cherche surtout à les disposer dans un ordre méthodique le plus conforme possible à leurs analogies. Elle se partage en *minéralogie*, *botanique*, *zoologie*.

La minéralogie, ou histoire naturelle des corps inorganiques, comprend :

1.° La description et la classification de ces différens corps;

2.° *La géologie*, qui traite de la position géographique des diverses substances minérales, de leurs positions respectives, les unes à l'égard des autres, de l'ancienneté relative des différentes couches du globe; qui traite enfin des modifications qu'a éprouvées et qu'éprouve habituellement la surface de la terre par l'action des eaux, des volcans, etc.

La botanique, ou histoire naturelle des végétaux, renferme :

1.° La description et la classification des espèces;

2.° *La géographie botanique*, qui traite de la disposition des végétaux en divers groupes particuliers, suivant les diverses parties de la surface de la terre;

3.° *L'anatomie* et la *physiologie végétale* qui traitent de l'organisation des végétaux et des différens phénomènes de la végétation.

La zoologie, ou histoire des animaux, comprend :

1.° Leur description et leur classification;

2.° *La géographie zoologique*;

3.° *L'anatomie* et la *physiologie animales*, qui s'occupent de l'organisation des différens animaux, des différentes fonctions des organes, des phénomènes de la vie animale.

Nous ne comprenons point, dans l'énumération que nous venons de faire, les différens arts qui se lient avec les différentes branches de l'histoire naturelle, ou plus généralement avec les différentes branches des sciences physiques. Par exemple, *l'art des mines* tient immédiatement à l'étude des espèces minérales, à la géologie et à la chimie; *l'agriculture* tient à l'étude des diverses espèces végétales, à l'étude de leur organisation, et à celle des différens phénomènes de la végétation. Enfin, la *médecine* et la *chirurgie*, qui portent particulièrement leurs recherches sur les maux qui affligent l'humanité; *l'art vétérinaire*, qui étudie les maux qui frappent nos animaux domestiques, sont

des applications continuelles de la physiologie et de l'anatomie animales, ainsi que de la connaissance des propriétés diverses des végétaux, etc., etc.

L'art du potier, du verrier, du teinturier, du tanneur, etc., etc., quoique pratiqués long-temps avant qu'on eût des connaissances exactes des sciences physiques, en tirent tous les jours des applications de la plus haute importance, qui peuvent seules les conduire à leur perfection, et faire sortir les ouvriers de la routine commune. Au reste, nous aurons souvent occasion de citer les diverses applications des sciences physiques aux arts, et aussi aux divers besoins de la vie.

Si les différentes divisions que nous venons d'établir dans les sciences physiques indiquent assez bien, dans le principe, les différentes routes que l'on peut prendre pour arriver à la connaissance de la nature, il n'en faut pas conclure qu'elles demeurent ainsi isolées et distinctes les unes des autres dans toute leur étendue : on les voit au contraire se croiser, diverger et se rapprocher tour-à-tour, et finir souvent par se confondre. Mais, loin d'être un inconvénient, c'est un précieux avantage, car les mêmes vérités, découvertes par plusieurs routes, en acquièrent plus de certitude; et toutes les sciences, se prêtant un mutuel secours, se redressent et s'éclairent l'une par l'autre.

ESSAI
D'UN COURS ÉLÉMENTAIRE
DE PHYSIQUE.

LIVRE PREMIER.

NOTIONS PRÉLIMINAIRES, ET PHÉNOMÈNES GÉNÉRAUX.

La Physique proprement dite a pour objet l'étude des propriétés les plus générales que présentent les matières inertes à l'état solide, à l'état liquide, à l'état de fluide aériforme et à celui de fluide incoërcible. Elle examine les actions mécaniques que les corps, sous ces différens états, exercent les uns sur les autres, et les diverses circonstances de leurs mouvemens.

Sous les quatre états que nous venons de citer, les corps présentent des propriétés particulières que nous traiterons successivement dans différens livres, et que nous appliquerons aux diverses circonstances du mouvement. Mais il existe des phénomènes généraux qu'il est nécessaire d'étudier d'abord, et ces phénomènes exigent, pour être entendus, des notions préliminaires de mécanique que nous avons cru devoir rappeler brièvement ici : ce sont ces notions préliminaires et ces phénomènes généraux qui font la matière du premier Livre.

CHAPITRE PREMIER.

Caractères généraux des corps et de leurs différens états.

(1) On nomme *espace infini* ou *absolu* l'idée qui reste après avoir fait abstraction, par la pensée, de tous les corps de l'univers : chaque partie de cet espace, ou de ce vide, qu'on peut concevoir limitée de différentes manières, se nomme *espace limité* ou *espace relatif*.

(2) On nomme *corps* l'étendue limitée douée de propriétés matérielles que nos sens peuvent apercevoir de différentes manières. Ce qui distingue, en général, un corps d'une simple étendue ou d'un vide est l'*impénétrabilité*; c'est-à-dire, la propriété qu'a un corps d'exclure du lieu qu'il occupe tous les autres corps. (*)

C'est l'impénétrabilité qui annonce l'existence d'une matière quelconque ; c'est cette propriété qui donne lieu aux divers genres de mouvemens ; car, si les corps étaient pénétrables, ils ne pourraient recevoir aucune sorte d'impulsion ni en donner aucune. D'ailleurs, on ne saurait concevoir du mouvement là où il n'existe rien ; de sorte que partout où on reconnaît du mouvement, on peut annoncer l'existence d'un corps.

(3) Aussitôt qu'on a conçu l'idée de l'étendue, on acquiert

(*) Pour bien entendre cette propriété dans tous les cas, il faut distinguer le volume d'un corps, de l'espace réel qu'il occupe ; car tous les corps sont plus ou moins poreux, et c'est à la faveur des pores que plusieurs se laissent en apparence pénétrer et subissent divers changemens remarquables.

celle de la *divisibilité* ; car si un corps a de l'étendue, on peut en concevoir la moitié, puis la moitié de cette moitié, et ainsi de suite à l'infini ; c'est-là ce qu'on nomme la *divisibilité géométrique*. Mais on ignore si, par des moyens mécaniques, il est possible de diviser un corps à l'infini; tout ce que l'expérience nous apprend à cet égard, c'est que plusieurs corps peuvent être divisés en particules si ténues qu'elles deviennent imperceptibles à nos sens.

(4) La physiqué proprement dite ne traite, comme nous l'avons annoncé, que des propriétés les plus générales des corps inorganiques, ou bien, si elle étend ses recherches sur les corps organisés, c'est en faisant en eux abstraction de la vie pour ne considérer que la matière. Sous ce point de vue, les corps se présentent à nous sous quatre états différens, savoir : *à l'état solide*, *à l'état liquide*, *à l'état de fluide aériforme*, à celui de *fluide incoërcible*.

(5) Les *corps solides* sont ceux qui, comme la pierre, le bois, etc., présentent au toucher une résistance assez sensible pour pouvoir être saisis et pressés entre les doigts. Ils sont susceptibles d'être taillés de diverses manières, et conservent immédiatement les figures qu'on leur procure ou qu'ils peuvent avoir naturellement.

Les sables, les poussières ne sont qu'une réunion de petites particules solides, sans liaison entr'elles, dont on peut au moins prendre une pincée, si leur ténuité ne permet pas de les isoler. Quoique ces particules soient susceptibles de rouler les unes sur les autres en cédant au moindre choc, on peut cependant les amonceler en tas plus ou moins considérables.

(6) Les *corps liquides* sont ceux qui, comme l'eau, ne manifestent immédiatement au toucher qu'une très-faible résistance, assez sensible cependant pour indiquer leur présence, même dans l'état de repos. Ils ne peuvent être saisis ni pressés entre les doigts ; ils ne peuvent être amoncelés, et ne conservent de figure que celle qu'on peut leur faire prendre dans des vases.

(7) Les *fluides aériformes* sont des corps qui, comme l'air, ne peuvent manifester leur présence au toucher lorsqu'ils sont en repos; ainsi, est-ce en vain que nous cherchons à palper l'air qui se trouve autour de nous, quoique nous sentions très-bien sa résistance, lorsque nous sommes exposés à un grand vent.

Les fluides aériformes sont la plupart invisibles. On peut les enfermer dans des vases, et lorsqu'ils ne peuvent s'en échapper par aucun endroit, on peut les comprimer jusqu'à un certain point; mais ils résistent bientôt à la pression avec une grande force.

(8) *Influence de la température sur l'état des corps.* — Le même corps, suivant les diverses circonstances, peut souvent se présenter successivement sous les différens états que nous venons d'indiquer. La plupart des corps inorganiques qui sont solides à la température ordinaire, peuvent être amenés à l'état liquide par une température plus élevée d'un nombre de degrés plus ou moins considérable; c'est ce qui a lieu à l'égard de la cire, du soufre, de la plupart des métaux, etc. Il existe cependant des corps inorganiques qu'on ne peut amener à l'état liquide par aucune élévation connue de température; il en existe d'autres qui pourraient être amenés à cet état, s'ils n'étaient pas susceptibles de se décomposer par la chaleur, comme le marbre; mais nous ferons voir qu'avec quelques précautions on peut aussi les liquéfier.

Tous ces corps, amenés à l'état liquide par une élévation de température, reprennent l'état solide lorsqu'elle vient à diminuer. De même, les corps qui, à la température ordinaire, sont habituellement à l'état liquide, se solidifient lorsqu'ils sont exposés à une température plus basse; ainsi l'huile d'olive, qui est liquide à Paris pendant les chaleurs de l'été, prend la consistance pâteuse aux approches de l'hiver; l'eau prend l'état solide à zéro de notre thermomètre; le mercure se solidifie vers 39^{d} au-dessous de zéro du thermomètre centigrade, ou 31^{d} de Réaumur.

Cependant, il existe des corps liquides, comme l'esprit-de-vin, qui ne peuvent se solidifier à quelque degré connu de froid, qu'on puisse les exposer.

(9) Beaucoup de corps, amenés à l'état liquide, peuvent même prendre l'état aériforme par une augmentation de chaleur; ainsi le mercure prend l'état aériforme à la température de 346^{d}. On sait que l'eau prend subitement cet état à la température de 100^{d}. On peut se convaincre que l'esprit-de-vin y passe à 78^{d}, et que divers autres corps peuvent y passer à des températures plus basses.

En général, il n'existerait que des corps aériformes, si la température, à la surface du globe, était beaucoup plus élevée; d'où il suit que les corps qui, à la température ordinaire, sont à l'état aériforme, se trouveraient alors dans un état si prodigieux de rareté, qu'il ne serait plus possible de constater leur poids, ni peut-être de les coërcer.

Les corps peuvent retourner de l'état aériforme à l'état liquide par l'abaissement de température; on peut aussi les ramener à cet état, en les comprimant dans un vase, et rapprochant ainsi les particules matérielles les unes des autres. Nous ferons remarquer que, dans cette opération, il s'échappe une grande quantité de *calorique* (fluide de la chaleur) qui manifeste sa présence par une sensation souvent assez vive de chaleur.

La plupart des corps, habituellement gazeux à la température ordinaire, ne peuvent être amenés à l'état liquide ni par aucun degré de froid connu, ni par la pression.

(10) Les *fluides incoërcibles* ou *impondérables* sont au nombre de quatre; ils ont été imaginés pour expliquer les phénomènes de la chaleur, de l'électricité, du magnétisme et de la lumière. On n'a pu encore constater ni leur impénétrabilité, ni leur poids; ce qui rend leur existence un peu douteuse; néanmoins elle paraît assez bien prouvée par les diverses circonstances de leurs mouvemens.

CHAPITRE II.

Notions générales sur l'équilibre et le mouvement.

(11) *Définition du repos et du mouvement.* — Les corps se présentent à nous à l'état de repos ou à l'état de mouvement. Nous jugeons qu'un corps est en repos, quand toutes les parties qui le composent persévèrent constamment dans les mêmes rapports de situation, relativement à certains objets que nous regardons comme fixes; nous jugeons, au contraire, qu'un corps est en mouvement, lorsque ce corps ou ses différentes parties changent successivement de situation relativement à ces mêmes objets.

(12) *Difficulté de juger si un corps est en repos ou en mouvement.* — Quelque simple que paraisse la distinction de repos et de mouvement, il est cependant presqu'impossible de dire si un corps se trouve à l'un ou à l'autre état. Par exemple, un homme, emporté dans un bateau, par le courant d'une rivière, juge en repos tous les objets qui conservent la même situation relativement à ce bateau; et il juge, au contraire, le rivage en mouvement: ce n'est qu'en comparant la petitesse de l'espace où il se trouve, avec la grandeur des masses qui l'environnent sur le rivage, qu'il peut acquérir une sorte de certitude, que c'est réellement le bateau qui se meut.

Nous sommes dans le même cas à la surface de la terre. Il nous semble que le soleil et tous les astres circulent autour de notre globe. Ce n'est qu'en comparant la petitesse de ce globe au système des astres, que nous commençons à soupçonner que ceux-ci pourraient bien être en repos, et la terre, au contraire, en mouvement; mais ce n'est là

qu'un soupçon qui ne prévaudrait jamais sur l'opinion contraire, s'il n'était appuyé sur des raisons plus décisives.

Toutes les fois que nous sommes entraînés d'un mouvement commun avec tous les corps qui nous environnent, il nous est impossible de juger du mouvement de ces corps : nous les croyons en repos; mais ce repos n'est qu'apparent. C'est encore le cas où nous nous trouvons à la surface de la terre : les corps que nous y croyons en repos, sont entraînés avec nous dans les mouvemens de rotation diurne de ce globe sur son axe et dans son mouvement annuel autour du soleil.

(13) *Repos absolu et relatif.* — On distingue le *repos vrai* ou *absolu* et le *repos apparent* ou *relatif.* Le repos absolu est l'idée que nous nous formons d'une privation totale de mouvement, c'est-à-dire, d'une permanence du corps et de ses différens points dans le même lieu de l'espace absolu. Le repos relatif est la permanence du corps et de chacun de ses différens points dans le même lieu d'un certain espace limité, que l'on considère comme en repos, quoique réellement il puisse être en mouvement, soit dans l'espace absolu, soit même dans un autre espace limité et mobile.

Par suite de la distinction de repos absolu et de repos relatif, on distingue aussi le *mouvement absolu* et le *mouvement relatif;* et il est à remarquer que les lois du mouvement relatif, dans un espace limité mobile, sont absolument les mêmes que si cet espace était dans un repos absolu.

(14) *Inertie de la matière.* — La nature ne nous offre aucun exemple d'un corps inorganique qui passe de l'état de repos à l'état de mouvement, et réciproquement, sans que ce changement ne soit la suite d'une action exercée sur ce corps par un agent extérieur. Si les animaux ont la faculté de se mouvoir de différentes manières, ce ne peut être encore que par l'action d'un agent qui est indépendant de la matière, puisque ces corps, une fois privés de la vie, ne peuvent prendre d'eux-mêmes aucun

mouvement. D'après cela, on admet, comme vérité de fait, que la matière ne peut, par elle-même, c'est-à-dire, sans l'action d'un agent qui en est indépendant, changer son état de repos ou de mouvement. C'est cette loi qu'on nomme *inertie* de la matière.

(15) *Idée de la résistance et de la force.* — L'exercice habituel de nos facultés physiques nous donne le sentiment de la résistance et de la force ; ainsi, quand nous cherchons à mouvoir une masse quelconque, nous éprouvons ce qu'on nomme une résistance, et pour la vaincre nous sommes obligés de déployer une action à laquelle nous donnons le nom de *force*. D'après cela, toutes les fois que nous voyons un agent quelconque produire ou arrêter le mouvement d'un corps, nous jugeons qu'il a déployé une certaine force ; c'est pourquoi nous disons la force d'un cheval, la force d'un ressort, la force d'un boulet, etc. Réciproquement, toutes les fois que nous voyons un corps actuellement en repos entrer en mouvement, ou lorsqu'il est en mouvement si nous le voyons tout-à-coup s'arrêter ou changer de direction, nous jugeons que c'est par l'effet d'une force, quoique l'agent nous en soit souvent caché.

(16) *Comparaison des forces.* — L'exercice de nos facultés physiques nous fournit aussi l'idée du plus ou du moins, dans l'effort que nous faisons pour produire ou empêcher le mouvement de tel ou tel corps. Ceci nous apprend que les forces sont susceptibles d'augmentation et de diminution, et, par conséquent, qu'elles peuvent être considérées comme des quantités mathématiques qui ont entr'elles des rapports assignables, qu'on peut représenter par des nombres ou par des lignes proportionnelles à ces nombres.

On considère, dans une force, sa *direction* et son *intensité*. Sa direction, est la droite, suivant laquelle elle tend à mouvoir le corps ; son intensité, est l'effort qu'elle exerce sur lui.

(17) *Repos et équilibre.* — Le repos d'un corps peut avoir lieu de plusieurs manières; savoir : 1.° lorsque ce corps n'éprouve l'action d'aucun agent capable de le mettre en mouvement ; 2.° lorsqu'éprouvant une action quelconque, l'effet en est détruit, soit par des obstacles invincibles, soit par des actions opposées. Lorsqu'il arrive que des forces appliquées à un corps se détruisent mutuellement, on dit *qu'elles se font équilibre ;* et le repos que possède alors le corps est aussi désigné par le mot d'*équilibre*, pour le distinguer du repos qui pourrait avoir lieu par l'absence de toute force.

Il n'existe aucun corps qui soit réellement en repos par absence de toute force ; le repos que nous observons dans les corps est toujours le résultat de l'équilibre des forces agissantes, ou bien le résultat de la suspension de leurs effets par des obstacles invincibles. Ce dernier cas se manifeste dans un corps placé sur un plan horizontal. Tout le monde sait que ce corps entre en mouvement et tombe vers la surface de la terre, dès l'instant qu'on retire le plan qui suspendait l'effet de la pesanteur.

(18) Ceci nous conduit à remarquer que le mouvement peut avoir lieu de deux manières, soit par l'effet d'une force qui agit sur le corps pendant un temps déterminé, et qui l'abandonne ensuite à lui-même ; soit par l'effet d'une force qui agit constamment sur lui, et qui manifeste son action aussitôt que l'obstacle ou la cause quelconque qui s'y opposait devient nulle.

(19) *On nomme mécanique* la science qui a pour objet de déterminer l'effet que doit produire sur un corps l'application d'une ou de plusieurs forces. Cette science se divise en deux parties : la *statique* et la *dynamique*.

La première considère les rapports que les forces doivent avoir entr'elles, en grandeur et en direction, pour se faire mutuellement équilibre ; la seconde recherche la manière dont le corps se meut, lorsque les forces qui lui sont appliquées ne se détruisent pas mutuellement.

CHAPITRE III.

De la statique.

(20) *Résultante de plusieurs forces.* — Lorsque plusieurs forces, qui ne se font point équilibre, agissent simultanément sur un point matériel, il est évident que ce point se meut ou acquiert une tendance à se mouvoir, suivant une certaine direction qui est nécessairement unique, parce que ce point ne peut aller par plusieurs chemins à-la-fois. Rien n'empêche de considérer ce mouvement, ou cette tendance au mouvement, comme l'effet d'une force unique, capable de l'effet résultant de toutes les forces proposées. Cette force unique se nomme la *résultante* des forces qui sollicitent le point matériel, et celles-ci se nomment les *composantes* de la première.

Il est évident que deux forces égales, directement opposées et appliquées à un même point, se font équilibre ; par conséquent, après avoir trouvé la résultante d'un nombre de forces appliquées à un même point, on pourra toujours établir l'équilibre, en lui opposant directement une force égale et contraire. On sera également en état de découvrir si tel point matériel libre est en équilibre entre les forces qui le sollicitent; car, dans ce cas, la résultante finale doit être égale à zéro, ou, ce qui revient au même, une quelconque des forces doit être égale et directement opposée à la résultante de toutes les autres.

Il est donc important de commencer par chercher la grandeur et la direction de la résultante d'un nombre quelconque de forces appliquées à un point ou à un système de point.

ARTICLE PREMIER.

Composition des forces appliquées en un point.

(21) *Résultante des forces dirigées sur une même droite.* — Lorsque deux forces P et Q, qui agissent sur un point matériel M, *fig.* 1, sont dirigées sur une même droite, et exercent leur action dans le même sens, il est évident que la résultante est égale à leur somme, et dirigée suivant la même droite.

Lorsque ces forces agissent en sens contraire, *fig.* 2, il est évident que la résultante est égale à leur différence, et dirigée dans le sens de la plus grande.

D'après cela, la résultante d'un nombre quelconque de forces qui agissent suivant la même droite et en sens contraire, est égale à la somme des forces qui agissent dans un sens, moins la somme des forces qui agissent dans le sens opposé, et elle agit dans le sens de la plus grande somme.

(22) *Résultante des forces de directions convergentes.* — Lorsque les forces proposées agissent dans des directions différentes, *fig.* 3, elles tendent en partie à s'ajouter, et en partie à se détruire. On démontre, dans les ouvrages de mécanique, que la résultante est alors représentée, en direction et en grandeur, par la diagonale du parallélogramme construit sur des lignes proportionnelles à ces forces, et prises sur leurs directions.

Ainsi, la ligne MR, *fig.* 3, est la résultante des forces P et Q, représentées par les lignes PM, QM.

Il est facile, d'après ce théorème, de déterminer la résultante d'un nombre quelconque de forces appliquées en un point : on cherchera d'abord la résultante de deux forces; puis on composera cette résultante avec une troisième force, etc.

ARTICLE II.

Composition des forces appliquées à un système de points liés invariablement entr'eux.

(23.) Si chaque point matériel est sollicité par plusieurs forces, on commencera par chercher la résultante de chaque groupe de force, et on n'aura plus qu'à composer toutes ces résultantes : or, il se présente plusieurs cas :

1.° *Ces résultantes peuvent être toutes parallèles entre elles ;*

2.° *Elles peuvent être toutes dirigées dans un même plan ;*

3.° *Enfin, elles peuvent être dirigées dans l'espace, de diverses manières.*

1.er CAS. *Composition des forces parallèles.*

(24) *Les forces agissant dans le même sens.* — Deux forces parallèles P et Q qui agissent dans le même sens, et dont les points d'application A et B sont liés entr'eux d'une manière invariable par une ligne droite, *fig.* 4, ont une résultante unique parallèle à elles, égale à leur somme et dirigée dans le même sens.

Le point O *d'application* de la résultante sur la droite AB est tellement placé, qu'il partage cette ligne en parties réciproquement proportionnelles aux forces, c'est-à-dire, qu'on a AO : OB : : Q : P.

(25) *Les forces agissant en sens contraires.* — Si les forces parallèles appliquées aux poins A et B agissent en sens contraire, *fig.* 5, la résultante est toujours parallèle aux composantes; mais elle est égale à leur différence et dirigée dans le sens de la plus grande.

Le point d'application O ne se trouve plus entre les points A et B; mais sur le prolongement de la droite qui

les joint, du côté de la plus grande force et à des distances des points A et B qui sont réciproquement proportionnelles aux forces; c'est-à-dire, qu'on a OA : OB : : P : Q.

(26) *Les forces contraires étant égales.* — Lorsque les forces parallèles qui agissent en sens contraires, P et Q, *fig.* 5, deviennent égales, elles n'ont pas de résultante; on conçoit, en effet, que si elles pouvaient être remplacées par une force unique, il n'y aurait pas de raison pour que cette force agît plutôt dans un sens que dans un autre.

L'assemblage de deux forces parallèles égales, est désigné par le nom de *couple.* On démontre qu'un couple quelconque peut être transporté où l'on voudra dans son plan, ou dans tout autre plan parallèle, et tourné comme on voudra dans ce plan, sans que son effet sur le corps auquel il est appliqué soit changé, pourvu que les nouveaux points d'application soient liés invariablement avec les premiers.

(27) *Résultante d'un nombre quelconque de forces parallèles.* — Il est facile, d'après ces détails, de composer un nombre quelconque de forces parallèles situées ou non situées dans un même plan. On composera d'abord deux forces; puis on composera leur résultante avec une autre force, et ainsi de suite. On parviendra, de cette manière, à une force unique qui sera la résultante des proposées, ou à un couple de forces qui n'aura pas de résultante.

(28) *Centre des forces parallèles.* — Si les forces P et Q, *fig.* 4, sans changer de grandeur et sans cesser d'être parallèles, viennent à changer de direction en tournant autour de leurs points d'application, la résultante tournera également; elle sera toujours égale à leur somme et passera toujours par le même point. Ce point fixe par lequel passe toujours la résultante, quelle que soit la position des forces parallèles, se nomme *centre des forces parallèles.*

2.e CAS. *Composition des forces situées dans un même plan.*

(29) ***Résultante de deux forces.*** — Soient P et Q deux forces de directions concourantes qui agissent sur les points A et B, *fig.* 6, liés invariablement entr'eux ; en prolongeant les directions de ces forces, elles se rencontreront en un point O ; et si on conçoit pour un instant que ce point soit lié invariablement avec les deux premiers, on pourra considérer les forces comme étant immédiatement appliquées sur lui. Dès lors, par la règle du parallèlogramme des forces, on déterminera la résultante R de ces forces qui rencontrera la droite AB en un certain point C, où l'on pourra ensuite, si l'on veut, l'appliquer.

Ce point est déterminé par la condition qu'en menant par lui des perpendiculaires CD, CE aux directions des forces proposées, ces perpendiculaires soient entr'elles réciproquement comme les forces, c'est-à-dire, qu'on ait CD : CE : : Q : P, ou ce qui revient au même

$$P\times = CD = Q\times CE.$$

Les produits qui constituent chacun des membres de cette équation, se nomment *momens* des forces.

(30) *Pour composer un nombre quelconque de forces* dirigées dans le même plan et appliquées à un pareil nombre de points liés entr'eux d'une manière invariable, on prolongera deux de ces forces jusqu'à ce qu'elles se rencontrent ; on cherchera leur résultante et son point d'application ; puis on composera cette résultante avec une autre force, etc., on parviendra ainsi à une résultante finale qui sera celle de toutes les forces, ou bien à un couple de forces qui remplacera toutes les proposées.

3.e CAS. *Composition des forces qui agissent d'une manière quelconque dans l'espace.*

(31) *Un tel système de forces peut être transformé*

en deux systèmes; l'un composé de forces qui se trouvent toutes situées dans un plan donné de position, l'autre composé de forces perpendiculaires à ce plan : c'est ce qu'on démontre rigoureusement et ce dont il est facile de concevoir la possibilité. En effet, supposons un plan fixe, déterminé de position, et prolongeons les directions des forces par la pensée, jusqu'à ce qu'elles rencontrent ce plan. Si on considère les points d'intersections comme liés invariablement avec les points donnés, on pourra y appliquer immédiatement les forces : or, la force qui agit en chaque point peut être regardée comme étant la résultante de deux forces, l'une dirigée dans le plan, l'autre perpendiculaire à ce plan, et par conséquent peut être remplacée par ces deux forces; donc, le système total peut être décomposé en deux autres, comme nous l'avons annoncé.

(32) On sait composer chacun des deux systèmes que nous venons d'énoncer; mais il peut arriver trois cas.

1.° Que chaque système ait une résultante unique.

2.° Que l'un des systèmes ait une résultante unique et que l'autre se réduise à nn couple de forces.

3.° Que chaque système se réduise à un couple.

(A) *Chaque système ayant une résultante unique.*

Si les deux résultantes se trouvent dans un même plan, on pourra les composer en une seule force qui sera la résultante de toutes les proposées.

Si ces deux résultantes se trouvent dans des plans différens, il ne sera plus possible de les composer en une force unique. En effet, si ces deux forces avaient une résultante, on pourrait prendre sur sa direction un point fixe lié invariablement avec les autres points, et les deux forces se feraient équilibre autour de lui : or, cet équilibre est impossible ; car, on pourrait mener par ce point une droite fixe qui coupât la direction d'une des forces sans être comprise dans le plan de l'autre ; la force qu'elle

rencontrerait serait détruite, mais rien n'empêcherait l'autre de produire un mouvement de rotation autour de l'axe fixe.

(B) *L'un des systèmes ayant une résultante unique, et l'autre se réduisant à un couple de forces.*

En décomposant, soit la résultante unique, soit chacune des forces du couple, on peut réduire les trois forces en deux autres situées dans des plans différens, et qui dès lors ne peuvent se réduire en une seule.

Réciproquement, on peut décomposer deux forces qui ne se rencontrent pas, en un couple de forces situées dans un certain plan, et une force située dans un autre plan.

(C) *Chaque système se réduisant à un couple.*

On démontre que les deux couples peuvent être réduits en un seul, et par conséquent qu'il n'y a pas de résultante unique.

ARTICLE III.

Des conditions d'équilibre d'un corps solide entre les forces qui le sollicitent.

(33) Il est facile de déduire de ce qui précède, les conditions d'équilibre d'un corps sollicité par un système quelconque de force; mais nous distinguerons deux cas; 1.° le cas où le corps est libre, c'est-à-dire, n'est assujéti par aucun point fixe; 2.° le cas où le corps est assujéti par un ou plusieurs points fixes.

1.er CAS. *Équilibre d'un corps libre.*

(34) *Un corps libre sollicité par une seule force* ne peut être en équilibre.

S'il est sollicité par un groupe de forces qui aboutissent au même point, il ne peut être en équilibre, à moins que la résultante de toutes ces forces ne soit égale à zéro.

(35) *Un corps libre sollicité par deux forces appliquées en des points différens*, ne peut être en équilibre que dans le cas où ces forces sont égales et directement opposées; car, si elles sont parallèles, convergentes ou situées dans des plans différens, elles ne peuvent se faire équilibre.

Si ce corps est sollicité par deux groupes de forces dont chacun a son point particulier d'application, il ne peut être en équilibre que dans le cas où les résultantes sont égales et directement opposées, et dans le cas où chaque groupe a une résultante nulle.

(36) *Un corps libre sollicité par un nombre quelconque de forces parallèles* ne peut être en équilibre que dans le cas où ces forces ont entr'elles de tels rapports de grandeur et de position, que l'une quelconque puisse être égale et directement opposée à la résultante de toutes les autres; car, si elles n'ont pas ces rapports entr'elles, elles se réduiront à une force unique d'une certaine grandeur ou à un couple de forces, et dans aucun de ces cas l'équilibre ne pourra avoir lieu.

On peut dire absolument la même chose d'un corps sollicité par des forces situées dans un même plan, et dont chacune a son point particulier d'application.

(37) *Un corps libre sollicité par un nombre quelconque de forces dirigées d'une manière quelconque dans l'espace, et dont chacune a son point particulier d'application*, ne peut être en équilibre, à moins que chacun des systèmes dans lesquels nous avons vu qu'on pouvait décomposer le système total (31), ne soit séparément en équilibre. Car, si l'un est en équilibre et que l'autre ne le soit pas, ce dernier produira un mouvement quelconque; et si chaque système n'est pas en équilibre, il ne pourra se présenter que trois circonstances différentes.

1.° Que chaque système se réduise à une force unique,

2.° Que l'un des systèmes se réduise à une force unique, et l'autre à un couple de forces;

3.° Que chaque système se réduise à un couple.

Nous avons déjà remarqué (32 A) que dans la premiere circonstance, si les deux forces se trouvent dans un même plan, elles ont une résultante qui par conséquent doit produire un mouvement, et que si ces deux forces se trouvent dans des plans différens, elles ne peuvent se faire équilibre.

Dans la seconde, nous avons vu que les trois forces se réduisent à deux qui ne sont pas dans un même plan et ne peuvent se faire équilibre (32. B)

Dans la troisième, les deux couples se réduisent à un, qui ne peut être en équilibre (32 C).

Donc, le système total ne peut être en équilibre que dans le cas où chaque système l'est séparément.

2.e CAS. *Équilibre d'un corps assujéti par un ou plusieurs points fixes.*

(38) *Lorsqu'un corps est assujéti par un point fixe* autour duquel il peut librement tourner, il n'est plus nécessaire, pour que l'équilibre ait lieu, que la résultante de toutes les forces soit nulle ; mais si elle n'est pas nulle, il faut qu'elle passe par le point fixe qui en détruit l'effet par sa résistance.

Si la résultante ayant une intensité réelle ne passe pas par le point fixe, il est évident qu'elle produira un mouvement de rotation autour de ce point.

Donc, s'il arrive qu'un système de forces appliqué à un corps fixé par un point, au lieu de se composer en une force unique, se compose en un couple de forces ou en deux forces dirigées dans deux plans différens, l'équilibre ne pourra avoir lieu, parce que les deux résultantes ne pourront passer à-la-fois par le point fixe.

(39) *Lorsqu'un corps est assujéti par un axe* autour duquel il peut tourner sans pouvoir glisser sur sa longueur, il est évident que l'équilibre peut encore avoir lieu sans que la résultante de toutes les forces qui sollicitent ce corps soit nulle.

1.° Si les forces sont toutes situées dans un même plan, sur lequel se trouve aussi l'axe, il est évident qu'il n'en pourra résulter aucun mouvement; car l'effet de chaque force sera détruit, soit parce que cette force rencontre l'axe fixe, soit parce qu'elle lui est parallèle.

2.° Si les forces, étant situées d'une manière quelconque dans l'espace, se réduisent à une résultante unique, il faut, pour que l'équilibre ait lieu, que cette force passe par l'axe, ou lui soit parallèle.

3.° Si les forces qui agissent sur le corps se réduisent à un couple, il faut, pour que l'équilibre ait lieu, que l'axe du corps se trouve dans le plan de ce couple; car, alors, il ne peut résulter aucun mouvement; ou bien, il faut que le plan de ce couple soit parallèle à l'axe; car, alors, on peut transporter le couple dans un plan qui renfermerait l'axe (26).

4.° Enfin, si les forces qui sollicitent le corps se réduisent à deux forces situées dans des plans différens, il faut, dans le cas d'équilibre, que ces forces passent toutes deux par l'axe, ou bien qu'on puisse les décomposer en un couple dont le plan passe par l'axe ou lui soit parallèle, et une force qui passe aussi par l'axe.

(40) *Si le corps est simplement appuyé contre une surface*, l'équilibre ne peut avoir lieu que dans le cas d'une résultante unique; mais, de plus, il faut que cette résultante presse le corps contre la surface, et de manière à ce qu'il ne puisse glisser dans aucun sens; ce qui exige qu'elle soit *normale* à la surface (*).

Si le corps est appuyé par un seul point, il faut que la résultante normale passe par ce point; s'il est appuyé par deux points, il faut que la résultante rencontre la ligne qui

(*) Comme on ne peut pas dire qu'une ligne droite est perpendiculaire à une surface courbe, on exprime, par le mot *normale*, qu'elle est perpendiculaire au plan tangent mené par ce point à la surface courbe.

joint ces points ; et, enfin, si ce corps est appuyé par trois points, ou par un plus grand nombre de points, il faut que la résultante normale passe dans l'intérieur du polygone formé par les points d'appui.

(41) *Application aux trois machines simples.* — Tout ce que nous venons de dire sur l'équilibre des corps retenus par un ou plusieurs points fixes, renferme, d'une manière générale, la théorie de l'équilibre des trois machines simples, le *levier*, le *tour*, le *plan incliné*, auxquelles on peut ramener toutes les autres.

Le *levier* est une verge inflexible, droite ou courbe, retenue par un obstacle ou par un point fixe, autour duquel elle peut tourner dans un ou plusieurs sens.

On fait un grand usage du levier pour mettre en équilibre deux forces qui ne sont pas directement opposées, et qui se trouvent, avec le point d'appui, dans un même plan. C'est ainsi que deux forces égales parallèles, appliquées aux extrémités A et B d'une verge inflexible, *fig.* 7, et placées à égale distance du point d'appui C, se font équilibre. C'est le principe de la balance ordinaire à deux plateaux.

Si les forces P et Q étaient inégales, il suffirait, pour qu'elles se fissent équilibre, que le point C fût tellement placé, qu'il partageât la droite qui joint les points d'application en parties réciproquement proportionnelles aux forces. C'est le principe de la balance, dite *romaine*.

Lorsque les forces sont obliques au levier, la position du point fixe, pour le cas d'équilibre, est déterminée par la condition que les momens des forces, par rapport à ce point, soient égaux. On voit qu'avec une force très-petite, on peut, au moyen d'un levier d'une grande longueur, produire un effort très-considérable.

Le *tour*, *treuil* ou *cabestan* est un corps qui peut tourner librement autour d'un axe fixe. On donne plus particulièrement à cette machine le nom de *tour* ou de *treuil* lorsque l'axe est horizontal, et celui de *cabestan* lorsque l'axe est vertical.

Le *plan incliné* est un plan inflexible incliné à la force qui sollicite le corps, et sur lequel, par conséquent, ce corps a la liberté de glisser.

On trouvera tous les détails sur ces machines, et sur toutes celles qui peuvent s'y rapporter, dans les ouvrages de mécanique; on y trouvera également des recherches sur l'équilibre des corps de formes variables. Nous citerons particulièrement, parmi les ouvrâges qu'on pourra consulter, la statique de M. Monge, revue par M. Hachette, où l'on trouve à-la-fois une grande simplicité jointe à beaucoup de clarté et de précision; la statique de M. Poinsot, qui est un peu moins élémentaire, mais qui est rédigée sur un plan nouveau très-lumineux; la mécanique de M. Poisson, dont le premier livre renferme tout ce qu'on peut desirer sur la statique élémentaire, mais qui exige un peu de calcul différentiel. Ces deux derniers ouvrages, qui nous ont servi de guide, présentent la série des propositions à-peu-près dans l'ordre que nous avons adopté, et qui nous paraît le plus philosophique.

CHAPITRE IV.

De la Dynamique.

(42) Un point matériel libre, sollicité par une force (*), se meut suivant une ligne droite, qui est la direction de cette force ; la rapidité ou vitesse de son mouvement en un point quelconque de cette ligne, dépend de la grandeur de la force qui agit sur lui, et du temps qui s'est écoulé depuis le commencement de son action.

ARTICLE PREMIER.

Mouvement uniforme.

(43) *Définition.* — Si, après avoir agi pendant un temps quelconque, la force devient tout-à-coup nulle, le mobile continue de se mouvoir dans la même direction, en vertu de la vitesse acquise, et conserve constamment cette même vitesse tant qu'il n'éprouve aucune résistance. Ce principe fondamental de la mécanique est un résultat de raisonnement et d'expérience. En effet, un corps étant par lui-même incapable de prendre aucun mouvement, doit être aussi incapable d'altérer celui qu'il a reçu, soit dans sa direction, soit dans sa vitesse. D'un autre côté, nous voyons que le mouvement que possède un corps se perpétue plus long-temps, à mesure que les frottemens et tous les obstacles quelcon-

(*) Cette force peut être la résultante de plusieurs forces qui ne se font point équilibre et qui conservent constamment entr'elles les mêmes rapports de grandeur et de direction pendant tout le temps du mouvement.

ques qui tendent à le détruire, diminuent; ce qui conduit à penser que sans ces obstacles, dont on peut faire abstraction dans la théorie, pour les prendre plus tard en considération, le mouvement acquis durerait toujours.

Cette espèce de mouvement, dans lequel la vitesse est constante, c'est-à-dire, dans lequel le mobile parcourt constamment le même espace dans le même intervalle de temps, se nomme *mouvement uniforme*.

(44) *Mesure de la vitesse d'un corps.* — On mesure la vitesse d'un corps par l'espace qu'il parcourt uniformément pendant l'unité de temps, une seconde, par exemple; d'après cela, l'espace parcouru uniformément par un corps, pendant un temps quelconque, est égal à la vitesse répétée autant de fois qu'il y a d'unités dans le nombre qui exprime ce temps. Soit donc V la vitesse du mobile, et soit E l'espace parcouru pendant un temps T, on aura $E = VT$; ce qui montre que l'espace parcouru croît proportionnellement au temps. On tire de cette équation $V = \frac{E}{T}$ c'est-à-dire, que, dans le mouvement uniforme, la vitesse est égale à l'espace divisé par le temps.

ARTICLE II.

Mouvement uniformément accéléré.

(45) *Définition.* — Pendant tout le temps qu'une force agit sur un corps, elle lui communique successivement des vitesses de plus en plus grandes; l'espèce de mouvement qui en résulte se nomme *mouvement uniformément accéléré*, lorsque la force conserve constamment la même intensité.

Pour mieux concevoir cette espèce de mouvement, on partage, par la pensée, le temps en une infinité d'intervalles égaux extrêmement courts, et on suppose que la force agit, comme instantanément, sur le mobile au commencement de chaque intervalle. Dès lors, le mouvement uniformément accéléré est remplacé par une suite de mouve-

mens uniformes dont les durées sont très-petites et dont les vitesses sont de plus en plus grandes.

(46) *Comment on soumet ce mouvement au calcul.* — C'est un principe généralement reçu que les vitesses qu'un même corps est susceptible d'acquérir par des forces de différentes grandeurs qui agissent sur lui pendant le même temps, sont proportionnelles aux intensités de ses forces (*). Il suit de là que si un corps a acquis une certaine vitesse par l'action, comme instantanée d'une force, et qu'une autre force vienne un instant après le solliciter de nouveau pendant un temps très-court, dans la même direction, la vitesse qu'il aura après ce second instant sera comme la somme des forces, ou comme la différence si la seconde force agit en sens contraire de la première.

D'après cela, supposons que la force accélératrice soit constante et que g soit la vitesse qu'elle communique à chaque instant au mobile, les vitesses successives seront g, $2g$, $3g$..... de sorte que, après un nombre t d'instans égaux, la vitesse sera tg.

(47) *Résultats du calcul.* — En partant de là, on démontre que l'espace parcouru pendant un temps t est représenté par $\frac{1}{2}gt^2$; ainsi soit e l'espace, on a $e = \frac{1}{2}gt^2$, d'où l'on conclut que les espaces parcourus par différens corps d'un mouvement uniformément accéléré, sont en-

---

(*) La proportionalité des vitesses aux intensités des forces n'est, dans le fond, qu'une hypothèse ; car, de ce qu'une force est double, triple, etc., d'une autre, il ne s'ensuit pas nécessairement qu'elle puisse communiquer au mobile une vitesse double, triple, etc., de celle que communiquerait la force simple ; mais cette hypothèse est la seule qui s'accorde avec les phénomènes que nous présente l'état actuel de l'univers. Voyez Laplace, Mécanique céleste, Liv. I., Chap. II ; voyez aussi Chap. VI, les lois du mouvement dans une hypothèse quelconque.

tr'eux comme les carrés des temps, et aussi comme les carrés des vitesses finales.

Si au bout du temps t, la force accélératrice cessait tout-à-coup son action, le mouvement deviendrait à l'instant uniforme, et la vitesse acquise v serait tg ; l'espace que le mobile parcourerait alors pendant un temps t, serait $v\,t$, (44), et en remplaçant v par sa valeur, cet espace serait représenté par gt^2; or, cette expression est le double de $\frac{1}{2}gt^2$. Donc, l'*espace parcouru pendant un temps t d'un mouvement uniformément accéléré, est la moitié de l'espace qui serait parcouru uniformément dans le même temps avec la vitesse finale.* Donc, une force accélératrice constante communique au mobile, dans un temps quelconque, une vitesse double de l'espace qu'elle lui a fait parcourir dans ce même temps.

(48) Si, à l'instant où la force accélératrice constante vient à agir sur le mobile, celui-ci avait déjà, dans le même sens, une certaine vitesse uniforme, la vitesse acquise à la fin de chaque instant en vertu de la force accélératrice se trouverait augmentée de la vitesse uniforme, de sorte qu'on aurait $v = a + gt$, en appelant a la vitesse initiale. De même, l'espace parcouru pendant un temps t serait augmenté de l'espace parcouru dans le même temps avec la vitesse initiale, de sorte qu'on aurait $e = at + \frac{1}{2}gt^2$.

ARTICLE III.

Mouvement uniformément retardé.

(49) Au lieu de concevoir la force accélératrice comme agissant constamment dans le sens de l'impulsion primitive, on peut supposer qu'elle agit en sens contraire; dès lors, elle diminuera à chaque instant la vitesse initiale, et cela, par les mêmes degrés qu'elle l'augmenterait si elle agissait dans le même sens; de sorte qu'après un temps t, la vitesse du mobile sera $v = a - gt$, et l'espace parcouru sera $e = at - \frac{1}{2}gt^2$.

La vitesse initiale continuellement diminuée finira par devenir nulle; et si à ce point la force accélératrice devient aussi nulle, le mobile restera en repos; si au contraire la force accélératrice continue son action, le mobile reviendra sur ses pas, et quand il sera parvenu au point d'où il était parti, il aura acquis une vitesse égale à celle qu'il possédait en ce point; mais en sens contraire.

ARTICLE IV.

Mouvement simplement varié.

(50) Si la force accélératrice varie continuellement en intensité pendant le temps qu'elle agit sur le mobile, la vitesse acquise à chaque instant variera proportionnellement, et le mouvement produit ne sera plus uniformément accéléré; mais il dépendra de la loi suivant laquelle la force accélératrice variera. On trouve dans ce cas des formules particulières pour lesquelles nous renvoyons aux ouvrages de mécanique.

ARTICLE V.

Des Mouvemens curvilignes.

(51) *Manière de concevoir ce mouvement.* — Si une force commence à agir sur un point en repos et continue toujours son action dans la même direction, ce point décrira une ligne droite; mais si la direction de cette force varie sans cesse pendant le mouvement, il est évident que le point matériel décrira une ligne courbe.

Un point matériel qui, après avoir reçu une impulsion, est ensuite abandonné à lui-même, ne peut décrire une ligne courbe, à moins qu'il ne survienne une force ou un obstacle qui change à chaque instant la direction de son mouvement.

(52) *Moyens de le soumettre au calcul.* — Dans tous les cas, pour déterminer plus facilement les circonstances

du mouvement curviligne, on peut considérer les forces comme agissant sur le mobile à des intervalles de temps infiniment petits, de manière que la courbe soit un polygone d'une infinité de côtés dont chacun soit parcouru d'un mouvement uniforme pendant l'intervalle correspondant.

Il est évident que le point matériel qui décrit un polygone continuerait à décrire uniformément le dernier côté, si aucune force ne venait agir de nouveau sur lui; par conséquent, lorsqu'un mobile décrit une ligne courbe, si en un point quelconque la force qui infléchit le mouvement devenait nulle, le mobile parcourerait uniformément la tangente en ce point.

(53) *Ce qu'on entend ici par vitesse.* —Dans le mouvement curviligne, on entend par la vitesse du mobile à un instant quelconque, celle du mouvement rectiligne et uniforme qui aurait lieu si, à cet instant, les causes qui infléchissent et font varier le mouvement, venaient à cesser leur action. On peut avoir cette vitesse en un point quelconque de la courbe considérée comme une ligne polygonale, en divisant la longueur infiniment petite, du côté que le mobile décrit alors, par le temps infiniment petit qu'il employe à le décrire.

(54) *Exemple d'un mouvement curviligne parabolique.* — Soit A un point matériel doué d'un mouvement uniforme suivant la droite AC, fig. 8, et sollicité à chaque instant par une force accélératrice P constamment perpendiculaire à l'horizontale AM.

Les espaces parcourus suivant AB, ou suivant les parallèles à cette ligne, croîtront comme les carrés des temps (47), en sorte que si Ab représente l'espace parcouru dans le premier instant, les espaces parcourus en 2, 3, 4... instans seront 4 Ab, 9 Ab, 16 Ab, etc.

Les espaces parcourus suivant AC croîtront seulement comme les temps (44), en sorte que si Aa représente l'espace parcouru dans le premier instant, les espaces par-

courus en 2, 3, 4... instans, seront 2 Aa, 3 Aa, 4 Aa, etc.

D'après cela, le mobile qui au premier instant est poussé d'une part vers a et de l'autre vers b, parcourera la diagonale Am et se trouvera au point m à la fin de cet instant. Au second instant le mobile poussé d'une part en a' et de l'autre en b' se trouvera transporté en m', puis en m'', m''', etc. La ligne polygonale parcourue, sera une ligne courbe lorsque les intervalles de temps qui séparent les impulsions des forces seront infiniment petits.

Chacun des points m, m', m'', etc., se trouve à l'intersection de deux lignes, dont l'une est parallèle à AC, et l'autre parallèle à AB : les lignes parallèles à AC sont entre elles comme les temps 1, 2, 3, 4...; les lignes parallèles à AB sont entr'elles comme les carrés des temps 1, 4, 9, 16..., c'est-à-dire, comme les carrés des premières. Il en sera de même pour tous les points de la courbe continue; or, c'est le caractère d'une parabole dont le grand axe serait parallèle à AB; donc *la courbe décrite par le mobile est une parabole* située de cette manière.

(55) *Cas où la force accélératrice est dirigée vers un point fixe.* —Un des cas du mouvement curviligne qui intéresse plus particulièrement les sciences physiques, parce qu'il renferme toute la théorie du mouvement des corps célestes, est celui où la force accélératrice qui infléchit à chaque instant le mouvement, est constamment dirigée vers un point fixe où elle tend à ramener le mobile. (*Cette force prend le nom de centripète.*)

On démontre, dans ce cas, que quelle que soit la force accélératrice, *les aires décrites autour du point fixe par le rayon vecteur* (*) *du mobile, sont proportionnelles aux temps employés à les décrire.*

Lorsque la force est proportionnelle à la distance du mobile au point fixe, on démontre que *la courbe décrite*

(*) On nomme rayon vecteur la ligne qui joint à chaque instant le mobile et le point fixe.

est une ellipse dont le centre se trouve au point fixe.

Lorsque la force est en raison inverse des carrés des distances au point fixe, on démontre que *la courbe décrite est une ellipse, une parabole ou une hyperbole dont le point fixe occupe un foyer.*

Si plusieurs mobiles décrivent des ellipses différentes en vertu d'une force qui agit en raison inverse des carrés des distances au point fixe, on démontre que *les carrés des temps des révolutions sont comme les cubes des grands axes de ces courbes.*

Voyez les démonstrations de ces résultats dans les traités de mécanique de M. Poisson, de M. Francœur, etc.

ARTICLE VI.

Mouvement d'un point matériel sur une courbe donnée.

(56) Nous venons d'examiner le cas où la direction primitive d'un point matériel est changée à chaque instant par l'action d'une force; on peut facilement ramener à ce cas celui où le corps serait détourné à chaque instant par un obstacle.

Lorsqu'un mobile est assujéti à se mouvoir sur une courbe donnée, *la résistance de la courbe produit l'effet d'une force accélératrice dirigée à chaque instant suivant la normale au point que l'on considère;* de manière qu'en ajoutant au système de force qui sollicite déjà le corps, une nouvelle force normale à la courbe, égale et contraire à la pression que supporte cette courbe, on pourra ensuite considérer le point matériel comme libre.

(57) *Exemple d'un mouvement circulaire.* — Supposons un point matériel m, fig. 9, attaché à un point fixe c par un fil inextensible cm. Supposons qu'on imprime à ce point une certaine vitesse dans une direction perpendiculaire à la longueur du fil; il est évident que ce point décrira un cercle dont c sera le centre et cm le

rayon, et que, pendant ce mouvement, le fil qui retient le mobile à une distance constante du point *c* éprouvera une certaine tension dans le sens de sa longueur. En appliquant au mobile une force égale opposée à cette tension et constamment dirigée vers le centre *c*, on pourrait ensuite faire abstraction du fil et considérer le mobile comme absolument libre.

La tension qu'éprouve le fil est due, dans le cas présent, à la tendance continuelle du mobile à s'échapper par la tangente au cercle qu'il décrit; on démontre que cette tension est égale au carré de la vitesse imprimée au mobile divisé par le rayon du cercle, c'est-à-dire, $\frac{V^2}{R}$ C'est la mesure de la force centripète qu'il faudrait appliquer au point *m* pour pouvoir faire ensuite abstraction du fil.

La tension $\frac{V^2}{R}$ qu'éprouve le fil *cm*, en vertu de la vitesse tangentielle appliquée au mobile, se nomme *force centrifuge*. On démontre que cette force est en raison directe du rayon du cercle décrit, et en raison inverse du carré du temps employé à décrire la circonférence entière.

(58) *Force centrifuge variée.* — Dans tous les cas où le mobile a seulement reçu une impulsion, et est ensuite abandonné à lui-même, la vitesse du mouvement circulaire est uniforme, et la tension $\frac{V^2}{R}$ est la même à tous les instans; mais s'il arrivait que le mobile fût sollicité par une force accélératrice constamment perpendiculaire au fil, la tension varierait à chaque instant, et elle serait égale en un point quelconque au carré de la vitesse en ce point divisé par le rayon.

Si cette force, au lieu d'être perpendiculaire à la longueur du fil, lui est oblique dans un sens ou dans l'autre, on la décomposera en deux, l'une perpendiculaire à la longueur du fil, l'autre dirigée suivant cette longueur. La tension du fil, à un instant quelconque, sera égale à la force centrifuge qui a lieu à cet instant, plus ou moins l'effort constant que produit la composante normale.

(59) Au lieu de supposer que le point matériel soit retenu autour du centre *c* par un fil, on peut concevoir qu'il est assujéti à parcourir la circonférence intérieure d'un anneau; le mobile exercera alors sur la surface des pressions normales, de la même manière qu'il exerçait des tensions sur les fils des n.os précédens.

(60) *Mouvement curviligne quelconque.* — Si le mobile est assujéti à décrire toute autre courbe que le cercle, on décomposera de même les forces qui le sollicitent, en composantes tangentes à la conrbe et en composantes normales; la pression exercée sur la conrbe sera égale à la force centrifuge due à la vitesse actuelle, plus ou moins l'action des forces normales.

La force centrifuge dans les courbes différentes du cercle est égale au carré de la vitesse, au point que l'on considère, divisé par le rayon du cercle osculateur, c'est-à-dire, par le rayon du cercle qui approche le plus de se confondre avec la courbe en ce point.

(61) *Effet des forces centrifuges.* —Tous les corps, en tournant autour d'un axe fixe, acquièrent une force centrifuge. C'est en vertu de cette force que la boue qui s'est attachée aux roues de nos voitures, s'en détache : cette boue est ensuite lancée en ligne droite avec la vitesse acquise pendant le mouvement de rotation. C'est aussi en vertu de la force centrifuge, que les cordons d'une fronde sont tendus, et c'est en vertu de la vitesse acquise pendant le mouvement de rotation, que la pierre s'échappe aussitôt qu'on lâche un des cordons qui la retenaient; toute l'adresse du frondeur consiste à bien estimer la tangente qui tend au but qu'il se propose d'atteindre. Les soleils d'artifice nous présentent aussi un joli exemple de la vitesse centrifuge combinée avec la vitesse de rotation; on peut remarquer que les flammèches de feu décrivent en l'air des courbes paraboliques.

ARTICLE VII.

De la mesure des forces.

(62) Tant que l'on considère les forces comme appliquées à des points matériels ou à des corps de même volume et de même matière, leurs intensités sont entr'elles comme les vitesses qu'elles impriment dans le même intervalle de temps; mais il n'en est pas de même, lorsque les forces sont appliquées à des corps différens, soit par leur volume, soit par leur nature.

(63) *Corps différens par le volume.* — Soit *fig.* 10 une suite de corps de même volume et de même matière, qui soient indépendans les uns des autres et qui se trouvent sollicités par des forces égales et parallèles; tous ces corps acquerront la même vitesse dans le même intervalle de temps. Si on suppose que tout-à-coup ils se trouvent liés invariablement entr'eux de manière à ne former qu'un seul corps, il est évident que cet assemblage possédera la même vitesse que chaque corps en particulier : cette vitesse pourra être considérée comme résultant de l'action d'une seule force égale à la somme des forces proposées.

Il suit de là que s'il faut une certaine force pour communiquer dans un temps donné une certaine vitesse à un volume déterminé de matière, il faudra une force double, triple, quadruple, etc., pour donner dans le même temps la même vitesse à un volume de même matière double, triple, quadruple, etc., du premier. Or, si dans le premier cas, la vitesse représentait l'intensité de la force, il faudra doubler, tripler, quadrupler, etc., cette vitesse pour représenter la force dans les cas suivans; d'où il résulte que les forces qui communiquent la même vitesse à des volumes différens d'une même matière, sont entr'elles comme ces volumes, ou, ce qui est la même chose, comme les quantités de matières.

(64) *Corps différens par leur nature.* — L'expérience

nous apprend que les corps de nature différente, quoique sous le même volume, ne sont pas susceptibles d'acquérir la même vitesse par l'action de la même force : par exemple, tout le monde peut se convaincre qu'il faut déployer un effort plus considérable pour mouvoir un volume donné de plomb, que pour mouvoir un pareil volume de verre. Il suit de cette observation que les forces appliquées à des corps de nature différente, ne sont pas entr'elles comme les volumes.

Les premiers géomètres qui se sont occupés de mécanique, se sont représenté les corps comme des assemblages de points matériels, *toujours identiques*, séparés les uns des autres par des *espaces vides* ou *pores*. En élargissant ou en diminuant ces espaces, ils ont conçu des nombres plus petits ou plus grands de parties matérielles renfermés sous des volumes égaux ; et ils ont conclu, en général, que les forces qui communiquent la même vitesse à des corps différens, sont entr'elles comme les nombres de points matériels mis en mouvement ; c'est-à-dire, toujours comme les quantités de matières, ou, suivant le langage reçu, comme les *masses*, parce qu'on nomme *masse* la somme des points matériels renfermés dans un corps.

Cette manière de considérer les corps n'est qu'une hypothèse ; car le verre est au moins aussi compacte que le plomb ; il est probable que la différence de 1 à 5 que nous présentent ces corps, relativement à la résistance qu'ils opposent à l'action d'une force qui tend à changer leur état de repos ou de mouvement, tient plus à la différence de nature entre les molécules dont ils sont composés, qu'à la différence de porosité. Personne d'ailleurs n'admettra, dans l'état actuel des sciences, que la matière soit identiquement la même dans tous les corps.

Quoi qu'il en soit, cette hypothèse peut être admise dans l'établissement d'une théorie sur la mesure des forces. Cependant il serait essentiel que la mécanique qui est por-

tée à un si haut degré de précision eût sur ce point, comme sur plusieurs autres, un langage plus exact.

(65) *Les forces qui communiquent des vitesses différentes à des masses différentes, sont entr'elles comme les produits des masses par les vitesses;* c'est ce qu'il est facile de prouver d'après ce qui précède; en effet, soient F et F' les forces appliquées à des masses m et m', et soient v et v' les vitesses communiquées.

Considérons un troisième corps dont la masse soit M, soit f la force qui lui communiquerait la vitesse v, et soit f' la force qui lui communiquerait la vitesse v'.

Les forces F et f qui communiquent la même vitesse v à des masses différentes, sont entr'elles comme ces masses, et on a

$$F : f :: m : M.$$

Les forces F', f' qui communiquent la même vitesse v' à des masses différentes, sont entr'elles comme ces masses, et on a

$$F' : f' :: m' : M.$$

Enfin, les forces f et f' qui communiquent des vitesses différentes à la même masse, sont entr'elles comme ces vitesses, et on a

$$f : f' :: v : v'.$$

De ces trois proportions on tire

$$F : F' :: mv : m'v',$$

comme nous l'avons annoncé.

(66) Le produit mv de la masse d'un corps par sa vitesse, se nomme *quantité de mouvement.* On voit que dans les corps qui se meuvent d'un mouvement varié, la quantité de mouvement varie à chaque instant.

Si la force que l'on considère agit continuellement sur le mobile, il faudra l'estimer par le produit de la masse et de la vitesse naissante; c'est-à-dire, par la quantité de mouvement que possède le corps, au premier instant de l'action de la force sur lui.

(67) *Evaluation des masses.* — Puisqu'on fait ainsi

entrer les masses dans l'expression de la force qui sollicite un corps, il est nécessaire de savoir les évaluer. Supposons une force constante F qui agisse sur un point matériel appuyé contre un plan : la pression que supportera le plan sera F ; mais s'il y a 2, 3, 4... m points matériels sollicités chacun par la même force F, et si toutes ces m forces sont parallèles entr'elles, il est évident que la pression que supportera le plan sera mF : soit P cette pression, on aura $P = mF$.

Pour un autre nombre m' de points matériels, on aurait, sous les mêmes conditions, la pression $P' = m'F$. Ces deux équations donnent $P : P' :: m : m'$; donc les pressions sont comme les masses ; il ne s'agit plus que d'avoir la force constante F, et d'estimer les pressions P et P' : or, la pesanteur qui dirige tous les corps au centre de la terre, peut être prise pour cette force, et les poids des corps peuvent être pris pour les pressions. (*Voyez* chap. 5, art. III.)

CHAPITRE V.

De la gravitation.

ARTICLE PREMIER.

Définitions.

(68) Il est démontré, par les voyages sur mer et par les observations astronomiques, que la terre est un sphéroïde isolé de toute part. Ce fait admis, il se présente une grande question à résoudre. *Pourquoi les parties dont le globe terrestre est composé, ne se dispersent-elles pas dans l'espace ? Pourquoi celles qui en sont détachées et portées par nous loin de sa surface, retombent-elles toujours sur lui lorsqu'elles ne sont plus soutenues ?*

On ne peut trouver la cause première de cet étrange phénomène que dans la volonté de la souveraine sagesse ; mais les choses se passent comme si *le centre du globe terrestre était doué d'une force attractive* qui fît tendre vers lui tous les corps environnans ; en conséquence, sans chercher à pénétrer plus loin, on est convenu de désigner le phénomène par les noms d'*attraction*, de *gravitation* ou de *gravité* ; et on part de là, comme d'une base fixe, pour expliquer ou prévoir une multitude d'autres phénomènes. Ici, ce que la théorie prévoit s'accorde si bien avec ce qui se passe effectivement, qu'il semble que la divinité, pour nous donner une idée de sa grandeur, ait voulu nous dévoiler le secret des lois qui régissent l'univers.

(69) *Tous les corps sont soumis à l'action de la gravité* qui les dirige vers le centre de la terre. Si nous voyons les ballons, par exemple, s'élever dans notre atmosphère, un morceau de liége se porter toujours à la surface de l'eau,

c'est parce que ces corps, sous un volume déterminé, ont moins de masse qu'un pareil volume du fluide dans lequel ils se trouvent plongés. (*Voyez* liv. 3, chap. 7.) Les corps qui s'élèvent dans notre atmosphère, tombent réellement dans un vase purgé d'air; de même qu'on voit un bouchon de liége tomber au fond d'un gobelet, lorsqu'il n'y a point d'eau.

(70) *Dans un même lieu de la surface de la terre, l'action de la gravité est la même pour tous les corps;* d'où il suit que, quelle que soit leur masse, ils devraient acquérir tous, en tombant, la même vitesse. S'il en est autrement au milieu de notre atmosphère; si, par exemple, nous observons qu'un morceau de plomb arrive plutôt à terre qu'une plume, c'est un effet de *la résistance de l'air*, qui s'oppose plus efficacement au mouvement du corps qui a le moins de masse; dans un vase purgé d'air on reconnaît que les corps, quels qu'il soient, emploient tous exactement le même temps à tomber de la même hauteur.

Pour faire cette expérience, on emploie un tube de verre de deux mètres (*) de hauteur, garni d'un robinet, *fig.* 11; on y introduit des corps de diverses natures, du papier, du liége, du plomb; puis on y fait le vide au moyen de la machine pneumatique (liv. 4 chap. 4). En renversant ensuite le tube, on reconnaît que les différens corps emploient tous exactement le même temps pour parcourir sa longueur.

ARTICLE II.
Du Centre de gravité.

(71) Tous les points d'un corps pesant sont sollicités, par

(*) Le mètre ou unité de mesure linéaire, est la dix-millionième partie de la distance du pôle boréal à l'équateur; il vaut à-peu-près 3 pieds 11 lignes 3 dixièmes, ancienne mesure; il se divise en *dixième*, *centième*, *millième*, qui prennent les noms de *décimètre*, *centimètre* et *millimètre*. Voyez fig. 23, la grandeur d'un décimètre et ses divisions en centimètres et millimètres.

l'action de la gravité, à descendre vers le centre de la terre, en suivant une ligne droite normale à la surface terrestre : c'est cette ligne qu'on nomme *la verticale ;* elle est déterminée, dans tous les points de la terre, par la direction du fil à-plomb.

En ayant égard à l'excessive grandeur du rayon terrestre, relativement aux dimensions des corps que nous avons habituellement à considérer(*), on voit que les angles, que font entr'elles les directions des forces qui sollicitent leurs particules, sont absolument inappréciables ; de sorte qu'on peut, sans erreur sensible, regarder ces directions comme parallèles dans toute l'étendue d'un même corps. Il suit de là que, si on fait prendre successivement au corps diverses positions, par rapport à la direction de ces forces, leur résultante passera constamment par le même point de ce corps. Ce point, que nous avons nommé *centre des forces parallèles* (28), prend ici le nom particulier de *centre de gravité.*

(72) *Déterminer le centre de gravité d'un corps.* — Pour qu'un corps, suspendu à un fil, soit en équilibre, il faut que la direction du fil passe par le centre de gravité ; de là résulte un moyen simple de trouver, par expérience, le centre de gravité d'un corps. Qu'on suspende le corps, *fig.* 12, par le point *a*, et soit *ab* la direction du fil ; il est clair que le centre de gravité se trouvera quelque part sur *ab* ; qu'on suspende ensuite ce même corps par le point *d*, et soit *df* la direction du fil, le centre de gravité se trouvera aussi sur cette ligne, et, par conséquent, il se trouvera à l'intersection *c* des deux droites.

Dans les corps réguliers, et dont la masse est homogène, le centre de gravité se trouve au centre de figure ; souvent ce point se trouve dans l'intérieur des corps ; mais quelque-

---

(*) Le rayon de la terre supposée sphérique, est de 6366745 mètres ou environ 1432 lieues communes 4 dixièmes.

fois il se trouve à l'extérieur, comme, par exemple, dans un anneau.

(73) *Application de la théorie des centres de la gravité.* — Pour qu'un corps pesant soit en équilibre, il faut que la direction de la verticale, menée par le centre de gravité, passe dans l'intérieur du polygone qui forme la base de ce corps. Plus la base du corps est petite, plus cette condition est difficile à obtenir; de là, la difficulté de faire tenir une canne verticalement.

Equilibre d'une colonne. — Dans une colonne cylindrique homogène, *fig.* 13, le centre de gravité se trouve au milieu de son axe. Pour que la colonne soit au maximum de stabilité, il faut que la verticale, menée par ce point, passe par le centre de la base, c'est-à-dire, qu'il faut que l'axe soit vertical. Cependant, la colonne conserverait encore une stabilité suffisante, si la verticale, menée par son centre de gravité, passait seulement dans l'intérieur de la base. Ainsi, dans la position, *fig.* 14, la colonne ne culbuterait pas encore; on pourrait même, dans cette position, augmenter la masse du côté de AB, et ramener ainsi le centre de gravité sur la verticale qui passe par le centre de la base.

On croit que les tours de Pise et de Bologne, qui sont inclinées à l'horizon et semblent menacer les passans de leur chute, ont été construites exprès de cette manière, et que dans chacune d'elles l'architecte a tellement ménagé la disposition des parties, que la ligne verticale, menée par le centre de gravité, passe par le centre de la base.

(74) *Equilibre du corps humain.* — Dans l'homme, le centre de gravité se trouve vers le milieu de la partie inférieure du bassin (*). *Pour qu'un homme soit en équi-*

(*) On désigne ainsi en anatomie la cavité formée au bas du tronc par les os des hanches.

libre sur ses pieds, il faut que la direction de son centre de gravité passe par la base que la position de ses pieds détermine. Un homme qui se tient debout verticalement, est en équilibre ; il est d'autant plus ferme, que la position de ses pieds détermine une plus large base.

Un homme qui tient ses pieds à côté l'un de l'autre, les talons étant sur la même ligne droite, a très-peu de stabilité, parce que, au moindre mouvement, la verticale sort de cette petite base; il ne peut se pencher en avant, à moins qu'il ne porte en même temps la partie postérieure de son corps en arrière, pour ramener la verticale dans sa base. Un homme qui tient ses pieds l'un devant l'autre, sur une même droite, est au minimum de stabilité latérale ; les danseurs de corde prennent cependant l'habitude de se tenir solidement dans cette position.

Lorsqu'un homme est assis, il lui est impossible de se relever, s'il tient verticalement son corps au-dessus de son siége ; dans ce cas, son centre de gravité est sur le siége et tombe hors de la base formée par ses pieds ; il est donc obligé de se pencher en avant, pour ramener son centre de gravité à passer par cette base.

Un homme qui porte un fardeau sur son dos, est obligé de se pencher en avant, parce que le fardeau et lui forment un système, dont le centre de gravité passerait au-delà de sa base, s'il se tenait verticalement. Un homme qui porte un fardeau dans ses bras, est obligé, par la même raison, de se pencher en arrière.

Les divers mouvemens qu'on fait naturellement avec les bras pour se soutenir lorsqu'on trébuche, n'ont d'autre but que de ramener la direction du centre de gravité à passer par la base formée par les pieds. C'est à cet effet, que les danseurs de corde tiennent une longue perche, ou *balancier*, entre leurs mains, pendant leurs jeux, ou font, avec les bras, divers mouvemens.

(75) *Lorsqu'un corps pesant est en équilibre, son centre de gravité se trouve toujours le plus haut ou le*

plus bas possible. — Soit, par exemple, un corps elliptique, dont la coupe soit, *fig.* 15, *a* et *b*, le centre de gravité étant en *c*; ce corps peut être en équilibre dans deux positions; savoir : dans le cas de la *fig. a*, où le centre de gravité est à son maximum d'élévation; et dans le cas de la *fig. b*, où le centre de gravité est le plus bas possible.

Dans le premier cas, le corps culbutera au moindre choc, et ne reviendra jamais de lui-même à sa première position, parce qu'il faudrait que son centre de gravité remontât. Dans le second, le corps, étant dérangé de sa position, tendra de lui-même à y revenir, en faisant de petites oscillations qui seront bientôt anéanties par les frottemens.

Ces deux cas d'équilibre sont distingués, le premier, par le nom d'*équilibre instantané*, et le second, par le nom d'*équilibre stable.*

On voit qu'un corps a d'autant plus d'à-plomb, que son centre de gravité est plus près de sa base; c'est pour cela que les cônes et les pyramides sont beaucoup plus solides sur leur base, que les colonnes et les prismes élevés verticalement.

ARTICLE III.

Du poids des corps.

(76) *On nomme poids d'un corps* la pression que ce corps exerce sur l'obstacle qui s'oppose directement à sa chute. Cette pression dépend à-la-fois de l'action de la gravité et de la masse du corps. En effet, si un point matériel pesant est soutenu par un plan horizontal, par exemple, la pression exercée sur ce plan sera égale à l'action de la gravité; mais s'il y a 2, 3, 4... *m* points matériels libres, ou liés invariablement entr'eux, il est évident qu'en considérant les directions de la gravité comme parallèles, la pression exercée sur l'obstacle sera $2g$, $3g$, $4g \ldots mg$; donc le poids d'un corps est proportionnel à

la masse, et partant ces deux quantités peuvent être prises l'une pour l'autre

(77) *Variation du poids à diverses latitudes.* — Comme l'action de la gravité varie à différentes latitudes (101) et à différentes distances au-dessus de la terre (105), il en résulte que le poids d'un corps varie proportionnellement, en sorte que le même corps est moins pesant à l'équateur qu'aux pôles; mais, d'après la manière dont on estime le poids, il n'est pas possible d'apercevoir cette différence, parce que les contre-poids qu'on employe subissent aussi la même diminution.

(78) *Le poids d'un corps se determine au moyen d'une balance* (la balance à deux plateaux par exemple); mais il est évident qu'en établissant l'équilibre on trouve seulement une pression verticale équivalente à celle du corps proposé, et que cette opération ne serait d'aucune utilité, si on ne trouvait moyen de comparer entr'elles les diverses pressions qu'on peut obtenir par l'expérience, pour savoir si l'une est double, triple, quadruple etc., d'une autre, ou si elle en est une fraction quelconque.

(79) *Unité de poids.* — Pour faire cette comparaison, il faut nécessairement fixer une unité de poids de convention, et exprimer les poids des corps en sommes ou en fractions de cette unité (*).

En France, l'unité de poids qu'on nomme *gramme* est le centimètre cube d'eau distillée prise à quatre degrés au-dessus de zéro (**). D'après cela on énonce le poids d'un

(*) Les nombres abstraits qui expriment nos diverses espèces de grandeurs ne sont que des rapports numériques à des unités fixées arbitrairement dans chacune d'elles. Ainsi, l'étendue en longueur est comparée à une unité linéaire, le *mètre;* l'étendue en superficie est comparée à une unité de superficie, le *mètre carré*; l'étendue en volume est comparée à une unité de volume, le *mètre cube*, etc.

(**) Le gramme se divise en *dixième*, *centième*, *millième*. 10 grammes forment le *décagramme*, 100 forment l'*hecto-*

corps, en disant combien il faut de grammes ou de fractions de grammes pour faire équilibre à la pression qu'il exerce. C'est là ce qu'on nomme *le poids absolu du corps.*

ARTICLE IV.

De la pesanteur spécifique.

(80) *Définition.* L'expérience nous apprend que sous des volumes égaux les corps hétérogènes ont des poids inégaux ; ainsi, une balle de plomb pèse plus qu'une balle de liége de même diamètre. On a coutume d'exprimer cette différence en disant que le premier corps est plus *dense* que l'autre ; ce qui signifie littéralement que dans tel corps les particules sont plus rapprochées que dans tel autre. Sans doute cela est vrai pour les corps dont la composition est absolument la même, comme par exemple, pour le sucre candi et le sucre en pain; mais rien ne prouve que la différence de poids qu'on observe entre des volumes égaux de deux corps dont les compositions sont différentes, comme entre le plomb et le verre, tienne à la même cause.

Quelle que soit la cause de ces différences on est convenu, pour exprimer qu'un corps pèse plus qu'un autre sous le même volume, de dire que le premier est spécifiquement plus pesant que l'autre ; c'est dans ce sens qu'il faut entendre que le plomb est plus pesant que l'eau, puisqu'il serait ridicule de penser qu'on voulût dire qu'un kilogramme de plomb est plus pesant qu'un kilogramme d'eau.

(81) *Pour avoir la pesanteur spécifique du corps*, il

---

gramme et 1000 forment le *kilogramme*, qui vaut environ 2 livres 5 gros 35 grains en poids anciens.

Si un corps pèse 2325 grammes, 3 dixièmes, 5 centièmes, on écrira en chiffres 2325 , 35 ; mais au lieu de l'écrire ainsi, on regarde souvent le kilog. comme unité et on écrit 2^{kl}, 32535.

faut donc les réduire tous au même volume ; ou bien si on ne peut les réduire tous à l'unité de volume, il faut diviser le poids qu'on trouvera pour un volume quelconque par le nombre d'unités que le volume total renferme. Par exemple, supposons qu'on ait le projet de réduire tous les corps à un centimètre cube, et qu'on ne puisse le faire mécaniquement ; on prendra un volume quelconque d'un corps, on le pèsera, on évaluera le nombre de centimètres cubes que le volume donné renferme, après quoi, divisant le poids total par le nombre d'unités de centimètres cubes qu'on aura trouvés, on aura le poids d'un centimètre cube du corps. Soit donc P le poids d'un corps, et V le nombre d'unités de volume qu'il renferme, on aura sa pesanteur spécifique égale à $\frac{P}{V}$ C'est dans ce sens qu'il est vrai de dire, que la pesanteur spécifique d'un corps est le rapport entre son poids et son volume. Il faut remarquer que la lettre P représente un nombre abstrait, qui est un rapport à l'unité de poids, et que la lettre V représente un nombre abstrait qui est un rapport à l'unité de volume.

(82) *Unité de pesanteur spécifique.* — Pour comparer entr'elles les pesanteurs spécifiques des corps, il faut encore fixer une unité de cette espèce de grandeur ; on est convenu de prendre, pour cette unité, la pesanteur spécifique de l'eau distillée, et on exprime la pesanteur spécifique d'un corps, en disant qu'il pèse deux fois, trois fois, etc. un volume d'eau égal au sien, ou qu'il n'en pèse que la moitié, le tiers, le quart, etc. ; c'est-à-dire, que la pesanteur spécifique d'un corps est le rapport entre le poids de l'eau et le poids de ce corps, à volume égal.

D'après cette manière d'exprimer la pesanteur spécifique, il n'est plus nécessaire de réduire exactement tous les corps au même volume ; il suffit que l'eau et le corps qu'on lui compare actuellement s'y trouvent réduits, puisque c'est tout ce qu'il faut pour évaluer ensuite le rapport entre leurs poids.

(83) *Pesanteur spécifique des liquides.* — Il est extrêmement facile de réduire l'eau et un liquide quelconque au même volume ; il suffit, pour cela, de choisir un flacon qui servira de mesure commune. On pèsera ce flacon, plein d'eau, puis plein du liquide proposé, et on défalquera de chaque pesée le poids du verre. On aura ainsi deux poids dont on prendra le rapport par la proportion, *p (poids de l'eau)*: *p' (poids du corps)* : : 1 (*pesanteur sp. de l'eau*) : *x* (*pesanteur sp. cherchée*). $x = \frac{p'}{p}$.

(84) *Pesanteur spécifique des solides.* — Il y a deux moyens de réduire l'eau et les corps solides au même volume ; mais nous n'en citerons qu'un pour le moment, renvoyant pour l'autre, au liv. 3, chap. 8.

On pèse d'abord le corps proposé ; puis on prend un flacon à large ouverture, bouché à l'émeril ; on le remplit entièrement d'eau, on le bouche, et on l'essuie bien ; on place ensuite ce flacon dans le plateau d'une balance très-exacte, avec le corps solide proposé, et on pèse le tout.

Cela fait, on plonge le corps dans le flacon ; il s'en échappe évidemment un volume d'eau égal à celui du corps ; on rebouche le flacon, on l'essuie bien et on pèse de nouveau. Il est évident que la différence entre le poids actuel et le poids primitif, est le poids du volume d'eau déplacé ; on a donc le poids de l'eau et le poids du corps à volume égal, et il ne s'agit plus que d'en prendre le rapport par la proportion citée ci-dessus.

Exemple. — Pour nous faire mieux entendre, prenons un exemple : soit un morceau de plomb du poids de 10 grammes, et un flacon rempli d'eau ; supposons qu'en pesant ensemble le flacon et le métal, on trouve 25 grammes, on plongera le métal dans le flacon, et après l'avoir rebouché et bien essuyé, on pèsera de nouveau. Alors, on ne trouvera plus qu'environ $24^g,119$; il en résulte que le le poids du volume d'eau échappé est égal à $0^g,881$; on a donc $p = 0^g,881$, $p' = 10^g$ et la proportion $p : p' : : 1 : x$

devient $0^g,881 : 10^g :: 1 : x = \frac{10^g}{0^g,881} = 11,35$ pesanteur spécifique du plomb.

(85) *Il y a une attention particulière à avoir pour les corps qui sont susceptibles d'imbiber l'eau*, car, dans ce cas, le volume de liquide, échappé du flacon, n'est pas égal au volume du corps. Il faut alors, après avoir pesé le corps, le plonger pendant quelques instans dans l'eau, puis le peser de nouveau pour déterminer l'augmentation de son poids; on le plongera ensuite dans le flacon, et on continuera l'expérience comme précédemment, ayant soin d'ajouter, dans le plateau où se trouvent les poids, un poids égal à celui dont le corps s'est accru par l'imbibition de l'eau.

(86) *Pour les corps solubles dans l'eau*, comme le sel commun, le sucre, etc., il faut choisir un liquide dans lequel ils ne se dissolvent pas. Mussembroeck s'est servi, dans ce cas, d'huile de thérébentine récemment obtenue; M. Hassenfratz s'est servi du mercure : soit a la pesanteur spécifique du liquide employé, on cherchera, comme précédemment, le poids du volume qui s'échappe du flacon par l'immersion du corps, et on fera $p : p' :: a : x = \frac{ap'}{p}$; il ne s'agira plus que de déterminer la pesanteur spécifique du liquide, et de la substituer à la place de a dans la valeur de x, pour avoir la pesanteur spécifique du corps comparée à l'eau distillée.

Tableau de quelques pesanteurs spécifiques tirées en partie de l'ouvrage de Brisson.

Substances.	Pesant. spécifiq.
EAU DISTILLÉE. (Unité de pesanteur spécifique.)	1.
1.° *Corps solides métalliques.*	
Platine pur, forgé	20,722.
Or pur fondu	19,258.
Or pur forgé	19,361.
Argent pur fondu	10,474.

Substances.	Pesant. spéc.
Argent pur forgé	10,501
Cuivre pur fondu	7,788
Cuivre pur passé à la filière	8,878
Laiton fondu	8,395
Laiton forgé	8,544
Plomb fondu ou forgé	11,352
Fer fondu	7,207
Fer forgé	8,778
Acier	7,833
Acier trempé	7,816
Etain fondu	7,291
Etain forgé	7,299
Zinc fondu	7,190

2.° *Corps solides combustibles.*

Sonfre	1,990
Diamant blanc	3,521

3.° *Corps solides pierreux.*

Cristal de roche	2,653
Pierre à fusil blanche	2,594
Grés des paveurs	2,415
Marbre de carrare	2,716
Pierre de liais	2,077
Porcelaine de Sèvres	2,145

4.° *Matières solides provenant des corps organisés.*

Cire blanche	0,968
Suif	0,941
Beurre	0,942
Chêne frais	0,930
Chêne sec	1,670
Hêtre	0,852
Prunier	0,785
Sapin à fleur mâle	0,550
Sapin à fleur femelle	0,498
Liége	0,240

5.° *Corps liquides.*

Substances.	Pesant. spécif
Mercure (*vif argent*)	13,586
Acide sulfurique. (*huile de vitriol*) concentré . .	1,850
Acide nitrique (*eau forte*) concentré	1,554
Huile de lin	0,940
Huile d'olive	0,915
Esprit de vin de commerce	0,837
Ether sulfurique	0,715

6.° *Corps gazeux.*

Ces corps étant infiniment plus légers que l'eau sont comparés à l'air atmosphérique. Voyez liv. 4 chap. 5

(87) Si on connaît à priori le poids d'un volume d'eau, il sera facile, d'après les tables de pesanteur spécifique, de déterminer le poids d'un égal volume d'un corps quelconque ; pour cela, on multipliera le poids du volume donné d'eau par la pesanteur spécifique du corps proposé : par exemple, si un volume donné d'eau pèse 29 kilog., le même volume de mercure pèsera 13,586 fois 29 kilog. ou $393^{k},994$.

Le décimètre cube d'eau, ou *litre*, pèse 1 kilogr. Il est facile de voir qu'un décimètre cube d'or pèse $19^{k},258$; un décimètre cube de mercure pèse $13^{k},586$; un décimètre cube de plomb pèse $11^{k},352$, etc.

ARTICLE V.

Accélération des graves pendant leur chute.

(88) *Expérience à ce sujet.* — Les corps en tombant librement acquièrent le mouvement uniformément accéléré ; c'est ce qu'on démontre par diverses expériences.

En faisant tomber, d'un endroit élevé, un corps d'une masse un peu forte comparativement à son volume, on

reconnaît, à Paris, que pendant la première seconde, il parcourt à-peu-près (*) 4^m, 9; que, pendant la seconde suivante, il parcourt trois fois 4^m, 9, c'est-à-dire, 14^m, 7 que, pendant la troisième seconde, il parcourt cinq fois 4^m, 9, etc., et qu'en général les espaces parcourus pendant les instans égaux et successifs, sont comme les nombres 1, 3, 5, 7, 9, etc.; d'où il suit que les espaces parcourus depuis l'origine du mouvement, pendant une, deux, trois, quatre secondes, etc., sont comme les nombres 1, $1+3=4$, $1+3+5=9$, $1+3+5+7=16$, etc.; c'est-à-dire, que ces espaces croissent comme les carrés des temps; ce qui est le caractère du mouvement uniformément accéléré (**).

Il est souvent fort difficile de trouver des endroits élevés et commodes pour ces sortes d'expériences; mais il existe un autre moyen de les faire sans sortir d'un cabinet de physique, et même d'avoir plus d'exactitude, parce que la résistance de l'air devient, de cette manière, beaucoup moins sensible : c'est ce dont nous allons nous occuper.

(*) Nous disons à peu-près, parce que la résistance de l'air s'oppose avec une certaine énergie au mouvement du corps. Liv. 4, chap. 2. C'est pour rendre cette résistance moins efficace que nous employons un corps qui, avec un grand poids, présente peu de surface. Voyez Livre 4, chap. 11, la manière de faire entrer la résistance de l'air dans les calculs.

(**) Dans la réalité, le mouvement d'un corps grave ne peut être uniformément accéléré, parce que l'action de la gravité agit en raison inverse du carré des distances du mobile au centre de la terre; mais, comme les plus grandes hauteurs d'où les corps puissent descendre à la surface de la terre sont infiniment petites par rapport à son rayon, il en résulte que le mouvement varié que le corps acquiert est très-peu différent du mouvement uniformément varié que nous lui substituons. Les expériences les plus exactes ne peuvent apprécier cette différence.

(89) *Principe d'une autre méthode pour faire l'expérience.* — Il est évident que deux corps de même poids, attachés aux extrémités d'un fil inextensible, non pesant, qui passe sur une poulie, se font équilibre, parce qu'ils exercent des pressions égales aux extrémités du diamètre qui fait l'office d'un levier soutenu en son milieu. Si les poids sont inégaux, l'équilibre ne peut subsister; le poids le plus fort entraîne l'autre; mais ce dernier qui tend à se mouvoir de haut en bas, ralentit la vitesse que le premier acquerrait s'il était libre. On démontre, dans ce cas, qu'en représentant par m et m' les masses en mouvement, par g l'action de la gravité supposée continue et constante, par v la vitesse au bout du temps t, on a $v = \frac{m-m'}{m+m'}.gt$. On démontre également qu'en représentant l'espace parcouru, par e, on a $e = \frac{m-m'}{m+m'}.\frac{1}{2}gt^2$: ces équations indiquent que les vitesses croissent comme les temps, et les espaces comme les carrés des temps, et par conséquent que le mouvement est uniformément varié. La vitesse du système est d'autant plus petite que la différence des masses $m-m'$, est plus petite comparativement à leur somme $m+m'$; d'où l'on voit qu'au moyen d'une poulie, on peut ralentir, autant qu'on le veut, le mouvement des corps graves sans en changer la loi; dès lors il devient facile de mesurer les espaces parcourus. On peut, à cet effet, se servir de la machine suivante, *fig.* 16.

(90) *Appareil.* — Une poulie est suspendue entre deux montans de bois, de deux mètres de hauteur; un fil fin et assez solide pour ne pas rompre, passe sur la gorge de la poulie et supporte deux poids égaux p et q; une échelle divisée en parties égales, est placée vis-à-vis ces poids; il faut de plus avoir une montre à secondes (*).

(*) On trouve dans les grands cabinets de physique un instrument nommé *machine d'Atwood*, du nom de son auteur, qui ne diffère de celui que nous avons décrit qu'en ce que l'axe de la poulie est porté sur des rouleaux mobiles et exerce

Expérience. — Le poids *P* étant à zéro, si on lui ajoute un petit poids (la valeur de ce poids est déterminée par les expériences qu'on a dû faire pour diviser l'échelle) pour rompre l'équilibre, on observera qu'à la fin de la première seconde, le corps P se trouvera au point 1; qu'à la fin de la seconde suivante il se trouvera au point 4; qu'après trois secondes il se trouvera au point 9, etc.: d'où l'on voit que les espaces parcourus, depuis l'origine du mouvement, sont comme les nombres 1, 4, 9, 16, etc., c'est-à-dire, comme les carrés des temps.

(91) *Autre expérience.*—On peut aussi, au moyen de cette machine, démontrer, par expérience, que la gravité communique au mobile, dans un temps quelconque, une vitesse capable de lui faire parcourir un espace double de celui qu'il a parcouru dans ce même temps, comme cela a lieu pour toute force accélératrice. Pour cela, on dispose en *a*, *fig.* 16, un anneau dans lequel le mobile P peut passer en descendant. Le poids qu'on ajoute à ce mobile, est un barreau d'une longueur plus grande que le diamètre de l'anneau, et qui est retenu par cet anneau, lorsque le mobile le traverse; de sorte que tout-à-coup les masses devenant égales, le mouvement devient uniforme: on reconnaît alors que l'espace parcouru, pendant la seconde suivante est égal à 8. En plaçant successivement l'anneau vis-à-vis différens points de l'échelle, on fait voir que les vitesses acquises sont proportionnelles aux temps écoulés depuis l'origine du mouvement.

(92) *Explication de quelques observations journalières.*—Tout le monde sait que la chute d'une pierre est d'autant plus à craindre, que ce corps est tombé de plus haut, ce qui tient à l'accélération de son mouvement; car

---

dès lors très-peu de frottement. Mais cet instrument est fort cher; nous nous sommes servi avec succès dans nos cours, de celui que nous venons de décrire, dont la poulie légère a son axe fixé à son centre et tournant sur deux pivots.

la vitesse devenant très-grande, la quantité de mouvement mv devient très-considérable, et partant, le choc qui a lieu à la rencontre d'un obstacle, est d'autant plus fort : c'est aussi par cette raison, qu'il n'est pas possible de sauter d'un endroit élevé, sans risquer de se fracasser contre les corps solides sur lesquels on tombe.

Si, par quelque circonstance, on est forcé de sauter d'un endroit nn peu élevé, il faut, en arrivant près de terre, conserver assez de présence d'esprit pour se laisser fléchir sur soi-même et partager le choc en plusieurs temps, en tombant d'abord sur les pieds, puis sur les genoux et enfin sur les mains. Une sorte d'instinct nous fait souvent employer ce procédé, sans trop avoir examiné pourquoi.

(93) *Application de la loi de la chute des corps graves, à la mesure de la hauteur d'un édifice.*—En partant de ce fait démontré par l'expérience, que la gravité est une force accélératrice constante, et que les corps parcourent, à Paris, environ $4^{m},9$ dans la première seconde de leur chute, il est facile de résoudre le problème suivant.

Sachant qu'une pierre a employé 5 *secondes à tomber du haut d'une tour, on demande la hauteur de la tour.* Pour résoudre ce problème, on fera usage du rapport des espaces aux carrés des temps, et on dira :

1 (carré de 1) : 25 (carré de 5) : : $4^{m},9$ (espace parcourn dans la première seconde) : x (espace parcouru en cinq secondes); d'où $x=122^{m}5$.

On peut déterminer approximativement la hauteur d'un édifice, ou la profondeur d'un puits, en laissant tomber une pierre de l'endroit le plus élevé, et en observant exactement le temps de sa chute. Si on peut suivre la pierre des yeux jusqu'au bas, on saisit facilement l'instant de son arrivée, et si on ne peut la suivre, comme par exemple, lorsqu'elle tombe dans un puits profond, l'instant de son arrivée en bas est annoncé par le bruit qu'elle y produit. Dans ce dernier cas, il faut observer que le son emploie

un certain temps pour parvenir de l'endroit où il se forme jusqu'à notre oreille, et qu'ainsi le temps observé est sensiblement plus grand que celui que le corps emploie à tomber.

Pour diminuer l'erreur qui résulterait de cette circonstance, on calcule d'abord la grandeur de l'espace parcouru par le corps grave, en faisant abstraction du temps que le son emploie à le parcourir. Connaissant ainsi cet espace, par une première approximation, on cherche combien de temps le son a dû employer à le parcourir, en partant de ce principe, que le son parcourt dans l'air 337 mètres par seconde. On retranche ensuite ce temps de celui qui a été observé, et on recommence le calcul.

On voit que pour faire ces sortes d'expériences, il faudrait avoir une montre à seconde ; mais à défaut de cet instrument, on peut employer les pulsations du pouls qui se font à-peu-près de seconde en seconde, chez un homme en bonne santé.

ARTICLE VI.

Mouvement d'un corps pesant sur un plan incliné.

(94) Pour qu'un corps pesant soit en équilibre sur un plan, il faut que la verticale, menée par son centre de gravité, soit perpendiculaire à ce plan ; c'est ce qui ne peut avoir lieu, si le plan proposé est incliné à l'horizon du lieu d'observation : dans ce cas, le corps glissera ou roulera vers la partie la plus basse.

Soit, *fig.* 17, un corps placé sur un plan incliné, l'action g de la gravité que nous représenterons par fc, se décomposera en deux forces, l'une ac, perpendiculaire au plan, qui sera détruite par sa résistance, l'autre bc, parallèle à ce plan, qui fera mouvoir le mobile.

Les deux triangles fbc, ABC sont semblables et donnent $bc : fc :: AB : AC$, c'est-à-dire, que la force qui

sollicite le corps à se mouvoir sur le plan incliné, est à l'action totale de la gravité, comme la hauteur du plan est à sa longueur : donc, plus le plan approchera d'être horizontal, moins la force bc qui meut le corps sera grande. On tire de la proportion $bc = g. \frac{AB}{AC}$; ou, à cause de $\frac{AB}{AC} =$ sin. C, $bc = g.$ sin. C.

Le rayon du globe terrestre étant excessivement grand, comparativement aux étendues que nous considérons habituellement, on peut, sans erreur appréciable, regarder les directions de la gravité, comme étant parallèles entr'elles dans tous les points de ces étendues (*). D'après cela, la force bc agira continuellement sur le mobile, avec la même intensité et suivant la même direction ; donc le mouvement sera uniformément accéléré ; c'est ce qu'on rend encore sensible au moyen de la machine d'Atwood.

On voit, d'après ce qui précède, qu'un corps ne peut descendre aussi vite par un plan incliné que par la ligne verticale ; mais on démontre qu'à la fin de la chute par le plan incliné, la vitesse acquise par le mobile; est égale à celle qu'il aurait en B, s'il avait suivi la verticale A B; et, en effet, si l'action de la gravité est diminuée par la résistance du plan, le temps pendant lequel elle agit, est augmenté proportionnellement.

(95) *Emploi du plan incliné pour élever des fardeaux.* — Tout le monde sait que pour élever des fardeaux d'un point à un autre, on se sert souvent du plan incliné; c'est parce que ce plan soutient une partie du poids du corps, et d'autant plus, qu'il est plus long relativement à sa hauteur; dès lors la force qu'il faut employer pour mouvoir le corps, est d'autant plus petite; mais on perd en temps ce que l'on gagne en dépense de force.

(*) L'angle formé par les directions de la gravité qui agit sur des points éloignés l'un de l'autre de 25 lieues, n'est à-peu-près que de 1 d.

(96) *Danger de courir en descendant une montagne.* — C'est par suite de l'accélération que les corps acquièrent en descendant le long des plans inclinés, qu'il est dangereux de courir en descendant une montagne un peu rapide. La vitesse qu'on acquiert devient quelquefois si grande qu'il n'est plus possible de se retenir ; ce qui est dangereux, non seulement parce qu'on peut arriver au bord d'un précipice, sans pouvoir ensuite l'éviter ; mais encore en ce que perdant bientôt l'équilibre naturel du corps, on tombe et on roule en se fracassant sur le terrein.

(97) *Expériences paradoxales.* — On fait, dans les cabinets de physique, diverses expériences qui, au premier abord, semblent contrarier les lois de la gravité. Soit, *fig.* 18, un cylindre de bois traversé en *a*, d'une petite baguette de plomb : en plaçant ce cylindre sur le plan incliné, le point *a* du côté le plus élevé, on le verra, au premier instant, se porter vers le haut du plan ; mais un instant après, on le verra glisser vers la partie inférieure, à moins que les frottemens ne soient trop considérables, auquel cas il restera en repos.

En réfléchissant sur ce qui se passe dans cette circonstance, on verra que dès le premier moment, malgré les apparences, le corps tombe réellement. En effet, un corps tombe toutes les fois que son centre de gravité se rapproche du centre de la terre ; or, dans le cylindre, le centre de gravité se trouve vers le point *a*, et au premier moment, le corps culbutant de ce côté, le centre de gravité se rapproche du centre de la terre : au contraire, il s'en éloignerait, s'il roulait dès le premier instant vers la partie inférieure.

Si dans l'instant suivant, le corps glisse sur le plan sans rouler, c'est parce que la direction de la verticale passe par la ligne de contact du corps et du plan.

On fait encore l'expérience d'une manière plus frappante. La *fig.* 19 représente un corps formé par la réunion de deux cônes base à base. En plaçant ce corps au point le plus bas

de l'appareil, *fig.* 20, formé de deux planchettes triangulaires, posées de champ et réunies sous un certain angle, on le voit remonter le plan incliné qui en résulte. Il est facile de voir que la partie du cône qui pose sur les tringles, devenant plus aigue à mesure que ce corps avance sur une plus large ouverture, il arrive réellement que le centre de gravité descend.

ARTICLE VII.

Mouvement des projectiles.

(98) Tout le monde peut observer qu'un corps lancé obliquement à l'horizon avec une certaine force, décrit dans l'espace une courbe, *fig.* 21. Cet effet tient à la combinaison de l'action constante de la gravité, avec la force de projection. En admettant que les directions de la gravité sont parallèles entr'elles, il suit du n.º 54 que le projectile devrait décrire une parabole; mais la résistance de l'air s'opposant à chaque instant au mouvement, la courbe décrite n'est pas de cette forme. En faisant entrer cette résistance dans le calcul, on trouve que les deux branches de la courbe sont de forme différente, et que la branche descendante jouit de la propriété d'avoir une asymptote verticale, comme *fig.* 21 (*).

Comme dans la réalité, les directions de la gravité ne sont pas parallèles entr'elles, mais qu'elles sont constamment dirigées vers un centre fixe, il s'ensuit qu'en faisant même abstraction de la résistance de l'air, la courbe décrite par le projectile ne peut être une parabole. On verra (107) que la gravité agit en raison inverse du carré de la distance du mobile au centre de la terre; de là, il suit que la courbe

(*) On nomme *asymptote*, une ligne droite dont une courbe s'approche toujours sans pouvoir jamais la rencontrer.

décrite est une ellipse dont le foyer le plus près se trouve au centre du globe. Si la force de projection était infiniment plus forte que celle que nous sommes en état de produire, la courbe décrite pourrait être une parabole ou même une hyperbole; mais alors le mobile ne retomberait plus jamais sur la terre.

ARTICLE VIII.

Oscillation du pendule.

(99) *Définitions.* C'est en vertu de l'action de la gravité, qu'un corps suspendu à un fil se maintient dans la position verticale, et qu'il y revient lorsqu'on l'en écarte. Tout corps pesant, suspendu librement à une verge métallique ou à un cordon, est nommé *pendule composé;* les géomètres conçoivent un pendule idéal, formé d'un fil inextensible, sans pesanteur, à l'extrémité duquel se trouve un point matériel pesant; c'est ce qu'ils nomment *pendule simple.* Si un tel pendule n'existe pas dans la nature, on y ramène facilement, par le calcul, les observations faites avec le pendule composé.

Si le pendule AB, *fig.* 22, est tiré dans la position AC, puis abandonné à lui-même, il parcourra l'arc CB d'un mouvement accéléré; mais l'accélération ne sera pas uniforme, parce que l'action de la pesanteur est en partie détruite en C, par la résistance du fil, et l'est de plus en plus à mesure que le mobile avance vers B, où elle l'est entièrement. En ce point, le corps a acquis une certaine vitesse horizontale, en vertu de laquelle il doit continuer à se mouvoir; il continue donc à parcourir la même courbe. Mais comme l'action de la gravité agit alors pour retarder sa marche, sa vitesse décroît par les mêmes degrés qu'elle croissait lors de la chute par l'arc CB; de sorte qu'en tirant l'horizontale CD, le corps se trouve en D à l'état où il se trouvait en C. Il descend alors vers B, puis remonte vers

C; puis, etc. Les oscillations iraient à l'infini, si la résistance de l'air et le frottement au centre de suspension ne ralentissaient successivement le mouvement, et de telle manière, que dès le premier instant, le mobile ne monte pas réellement jusqu'en D, et que les arcs qu'il décrit deviennent de plus en plus petits, jusqu'à ce qu'enfin le pendule s'arrête. Tant que les arcs ne sont pas très-grands, les oscillations successives se font sensiblement dans des temps égaux; on dit alors qu'elles sont *isochrones*. Cet isochronisme présente le moyen le plus sûr de régler les horloges à roues. C'est à Huighens que nous en devons la première application.

(100) *Résultats du calcul.* — C'est dans les ouvrages de mécanique qu'il faut étudier la théorie du pendule; on y démontre :

1.° *Que les durées des oscillations sont comme les racines carrées des longueurs des pendules, et en raison inverse des racines carrées des forces qui les sollicitent;*

2.° *Que lorsque deux pendules de longueur différente oscillent, les nombres d'oscillations sont en raison inverse des racines carrées des longueurs, si l'action de la gravité est la même.*

3.° *Que les pendules ayant même longueur, les nombres d'oscillations sont directement comme les racines carrées des actions de la gravité, et, par conséquent, que les intensités de la gravité sont comme les carrés des nombres d'oscillations.*

(101) *Applications de ces résultats.*—Il suit de ce dernier résultat, que si, par observation, on trouvait qu'un pendule fît, à Paris, dans un temps donné, un certain nombre d'oscillations, et que, transporté au Pérou, par exemple, il fît, dans le même temps, un nombre d'oscillations moins considérable, il faudrait conclure que l'action de la gravité est plus forte à Paris qu'au Pérou. Il résulte, en effet, des différentes observations faites par les savans les plus distingués, que l'action de la gravité est constante sous la même

latitude; mais qu'elle varie d'une latitude à l'autre : elle va en diminuant des pôles à l'équateur.

(102) *Pendule à secondes.* — On nomme pendule à secondes celui dont les oscillations se font dans une seconde de temps. Pour déterminer la longueur de ce pendule, il suffit de faire osciller un pendule composé d'une longueur quelconque, mesurée très-exactement; de compter le nombre des oscillations qu'il fait en une heure, par exemple, et de faire ensuite la proportion : 3600, nombre des oscillations du pendule à seconde pendant une heure, est au nombre des oscillations du pendule observé, comme la racine carrée de la longueur du pendule d'observation, est à la racine carrée de la longueur du pendule cherché. En élevant au carré, on aura la longueur du pendule composé qui battrait les secondes; il sera facile ensuite, au moyen des règles que fournit la mécanique, de calculer la longueur du pendule simple (*).

On a trouvé qu'à Paris la longueur du pendule simple, qui bat les secondes, est de $0^m,99384$; à l'équateur, cette longueur est un peu plus petite; car, on est obligé d'y racourcir le balancier de la pendule, qui, à Paris, marchait régulièrement avec les étoiles, pour qu'elle conserve la même régularité; au contraire, aux pôles on est obligé d'allonger le balancier. Ce fut Richer, qui en 1672, découvrit le premier cette variation de la longueur du pendule à diverses latitudes. L'exactitude de son observation fut d'abord contestée, mais on la reconnut ensuite.

(*) La formule, au moyen de laquelle on calcule la longueur du pendule simple qui correspond au pendule composé est $l = \frac{a^2 + K^2}{a}$ l est la longueur cherchée; a est la distance du centre de gravité du pendule composé au centre de suspension; K^2 représente le moment d'inertie de la masse du pendule par rapport à un axe parallèle à l'axe de suspension passant par le centre de gravité, divisé par la masse.

(103) *Intensité de la gravité à une latitude donnée.*— Connaissant la longueur du pendule simple qui bat les secondes en un point donné de la terre, on peut déterminer l'intensité de la gravité en ce point. On treuve, pour cela, la formule $g = a\pi^2$, a étant la longueur du pendule, et π la circonférence du cercle dont le rayon est l'unité, c'est-à-dire, 3,14159. (Legendre, géométrie.) A Paris, on a $a = 0^m,99384$; de sorte que $g = 9^m,8088$: c'est la vitesse que la gravité imprime aux corps durant la première seconde de leur chute dans le vide, ou le double de l'espace que les corps parcoureraient dans le même temps (47). En prenant donc la moitié de $9^m,8088$, on a $4^m,9044$ pour l'espace parcouru dans la première seconde de la chute : c'est cette valeur que nous avons employée n.° 88.

Nouvelle preuve que l'action de la gravité est la même pour tous les corps. — En faisant osciller des corps de différentes masses, et en déterminant pour chacun d'eux l'intensité de la gravité, on a reconnu aussi que l'action de cette force est la même pour tous les corps à la même latitude; ce qui confirme ce que nous avons annoncé n.° 70.

(104) *Conséquences qui résultent de la variation de la gravité à diverses latitudes.*—Lorsqu'on se fût aperçu, par les observations du pendule, que l'action de la gravité n'était pas la même à toutes les latitudes, on soupçonna que cette variation était due à une force centrifuge, résultante du mouvement de rotation de la terre sur son axe; et, en effet, si la terre possède ce mouvement, tous les corps qui se trouvent à sa surface doivent y participer, et être tous animés d'une force centrifuge qui s'oppose à l'action de la gravité. Cette force irait en augmentant depuis les pôles où elle serait à zéro, jusqu'à l'équateur.

On crut, pendant quelque temps, que c'était-là la seule cause de la diminution de la gravité dans les différens points du globe; mais Bouguer, ayant calculé, aussi exactement que possible, la valeur de la force centrifuge à différens

degrés de latitude, d'après la vitesse connue de la terre sur son axe, observa que la diminution de la gravité des pôles à l'équateur, n'était pas exactement proportionnelle à l'augmentation de la force centrifuge (*). On soupçonna alors que la forme de la terre y influait aussi pour quelque chose, et que le globe terrestre était renflé à l'équateur; c'est ce qu'on vérifia directement depuis, en mesurant, sous différentes latitudes, des arcs de méridien compris entre des parallèles écartés l'un de l'autre d'un dégré (**).

(*) La vitesse de rotation de la terre sur son axe est d'environ 400 mètres par seconde. La force centrifuge qui en résulte à l'équateur, fait perdre à la gravité environ la 289.ème partie de son action. On démontre facilement, d'après cela, que, si la vitesse de la terre était 17 fois plus grande, les corps cesseraient de peser à l'équateur, et que si elle devenait encore plus grande, toutes les particules matérielles s'écarteraient indéfiniment dans l'espace, de sorte qu'alors le globe se détruirait.

(**) On a trouvé, par les mesures les plus rigoureuses que les longueurs des arcs de méridien compris entre des parallèles écartées d'un degré, vont, en augmentant depuis l'équateur jusqu'aux pôles. Nous avons réuni quelques-unes de ces mesures dans la table suivante :

LIEUX d'observations.	*Latitude boréale* (*).	*Longueurs des arcs en mètres.*
à l'équateur . . .	0 d.,	99552, 3
en Pensylvanie. .	43 d., 56	99787, 1
en France. . . .	51 d., 33	99948, 7
au Nord.	73 d., 7	100696.

(*) Les degrés sont pris sur la division du cercle en 400 parties.

En partant des diverses mesures observées, on a trouvé, par le calcul, que le globe terrestre est un ellipsoïde dont le rayon de l'équateur est de 6376984 mèt. et le rayon du pôle 6356324.

Les mesures qu'on a prises sur les parallèles indiquent avec probabilité que les parallèles sont eux-mêmes elliptiques; de

(105) *La gravité varie à différentes distances au-dessus de la terre.* — Bouguer observa aussi, au moyen du pendule, que l'action de la gravité variait à mesure qu'on s'éloignait de la surface de la terre; il trouva qu'au Pérou, au niveau de la mer, le pendule simple à secondes avait $0^m,99076$, tandis que sur le Pichincha, montagne élevée de 4745 mètres, il n'avait que $0^m,98963$. Dans d'autres opérations, il obtint des résultats analogues; de sorte qu'il est évident que l'action de la gravité diminue à mesure qu'on s'élève au-dessus de la surface du globe.

ARTICLE IX.

Gravitation universelle.

(106) L'attraction terrestre, qui est si peu diminuée à la hauteur de 4745 mètres, doit s'étendre extrêmement loin dans l'espace, en conservant encore une grande intensité; en sorte qu'il vient naturellement dans l'idée qu'un corps transporté au-dessus de nous à une distance égale à celle de la lune, serait encore attiré par la terre: donc, la lune elle-même doit être attirée vers la terre; mais, si cela est, pourquoi cet astre ne tombe-t-il pas sur nous? C'est qu'en même temps qu'il est sollicité par la gravité, il est poussé avec une force de projection considérable, et que ces deux forces, en se combinant, lui font décrire une courbe elliptique autour de la terre, centre de l'attraction. Voyez l'article 7, de ce chapitre, sur le mouvement des projectiles, et l'article 5, chap. 4.

---

sorte que la fig. de la terre est très-compliquée; il paraît même que les deux hémisphères ne sont pas exactement semblables.

Dans l'usage ordinaire, on peut négliger l'aplatissement de la terre; c'est ce qu'on fait pour les mesures nautiques; mais alors il convient de prendre le rayon moyen, qui répond à la latitude de 50^d., et qui est de 6366745 mètres.

(107) *Conjecture et calcul de Newton.* — Newton (*) qui, le premier, conjectura que le mouvement elliptique de la lune autour de la terre était le résultat de son mouvement de projection combiné avec l'attraction terrestre, chercha à l'aide du calcul et d'après les données fournies par les observations astronomiques, de quelle hauteur cet astre abandonné à la gravité, descendrait vers la terre dans un temps déterminé; comparant ensuite la hauteur qu'il avait trouvée avec celle que parcourt dans le même temps un corps à la surface de la terre, il découvrit que, si l'*attraction terrestre s'étendait jusqu'à la lune, elle devait agir sur les corps en raison inverse du carré des distances au centre de la terre.* On sait par les observations astronomiques que la distance de la lune à la terre est d'environ soixante rayons terrestres; or, le carré de 60 est 3600; donc la gravité à la distance de la lune est 3600 fois plus petite qu'à la surface de la terre.

Le génie de Newton ne s'arrêta pas à cette découverte: sachant que les planètes sont aussi des globes isolés dans l'espace (**), cet illustre géomètre regarda chacune d'elles

(*) Sir Isaac Newton naquit le 25 septembre 1642, à Wolstrop, dans le Lincolnshire en Angleterre; il mourut en 1727. A l'âge de 24 ans, il avait déjà découvert son calcul des fluxions (calcul différentiel) et sa théorie de la lumière qu'on professe partout aujourd'hui. Il publia en 1687 ses *Principes mathématiques de la philosophie naturelle*, ouvrage sublime, qui a préparé toutes les découvertes des savans qui sont venus après lui.

(**) Les planètes sont des corps qui circulent autour du soleil. Elles sont aujourd'hui au nombre de onze; elles sont rangées autour du soleil dans l'ordre suivant, la première étant la plus rapprochée de cet astre: *Mercure, Vénus, la Terre, Mars, Junon, Vesta, Pallas, Cérès, Jupiter, Saturne, Uranus.*

Les satellites sont des corps qui circulent autour des planètes. La lune est le satellite de la terre. Jupiter a quatre satellites, Saturne sept, Uranus six. Les autres planètes n'en ont pas.

comme un centre d'attraction qui faisait tendre vers lui tous les corps environnans ; et comme plusieurs planètes sont accompagnées de satellites ou lunes qui circulent autour d'elles, il considéra les mouvemens de ces satellites, comme résultant d'une force de projection et de l'attraction de leur planète.

Enfin, sachant que, de la même manière que les satellites circulent autour des planètes, les planètes circulent autour du soleil en décrivant des courbes elliptiques et entraînant avec elles leur système de satellites, Newton tira cette conséquence, que le soleil est aussi comme le foyer d'une force attractive qui s'étend jusqu'aux planètes, et qui, combinée avec le mouvement de projection imprimé à chacune d'elles par la main puissante du Créateur, leur fait décrire des courbes elliptiques autour de cet astre.

(108) *Lois de Képler.* — Les phénomènes célestes qui servent de base aux calculs de toute la théorie de la gravitation, sont connus sous le nom de *lois de Képler* (*) ; ces lois sont le résultat d'une longue suite d'observations de ce savant célèbre ; elles ont été confirmées depuis par tous les astronomes ; de sorte qu'elles doivent être regardées comme des vérités incontestables. En voici l'énoncé :

1.° *Les planètes se meuvent dans des courbes planes, et leurs rayons vecteurs décrivent autour du centre du soleil des aires proportionnelles au temps.*

2.° *Les orbes planétaires sont des ellipses dont le centre du soleil occupe un des foyers.*

3.° *Les carrés des temps des révolutions des planètes autour du soleil, sont entr'eux comme les cubes des grands axes de leurs orbites.*

(109) *Conséquences de ces lois.* — Ces lois présentent

(*) Jean Képler, célèbre astronome, naquit en 1571 dans le duché de Wurstemberg, et mourut à Ratisbone en 1651.

une concordance exacte avec les résultats que nous avons cités (n.° 55); il ne s'agit, pour procéder rigoureusement, que de démontrer les réciproqucs des théorèmes que nous avons énoncés sous ce numéro : c'est ce qu'on fait dans les ouvrages de mécanique. En procédant ainsi, les lois de Képler nous conduisent aux résultats suivans :

La première loi fait voir *que la force qui sollicite les planètes est constamment dirigée vers le centre du soleil.*

La seconde loi nous indique *que la force qui sollicite les planètes agit en raison inverse des carrés des distances de leurs centres à celui du soleil.*

Enfin, la troisième loi nous indique *que cette force est la même pour tous ces corps; qu'elle ne varie de l'un à l'autre qu'en raison de leur distance au soleil;* en sorte que s'ils étaient placés à des distances égales autour du centre du soleil, et abandonnés à l'action de la force qui les pousse vers cet astre, ils emploieraient tous le même temps à tomber à sa surface. Cette dernière conséquence est la même que celle que nous avons tirée à l'égard des corps sollicités ici-bas par l'attraction terrestre.

Les lois de Képler s'appliquent également aux satellites des planètes, et il en résulte que chaque système de satellites est attiré vers sa planète par une force qui est la même pour tous ces corps, et qui agit en raison inverse du carré des distances de leur centre à celui du globe autour duquel ils circulent.

Le calcul fait voir que la courbe, décrite par les planètes autour du soleil, peut aussi être parabolique ou hyperbolique, de sorte que, quand bien même certaines comètes (*) décriraient des paraboles ou des hyperboles,

(*) Les comètes sont des astres qui se meuvent autour du soleil, dans des ellipses extrêmement allongées, ou dans des paraboles ou des hyperboles. Ces astres ont été long-temps un sujet de terreur; cette traînée lumineuse qui paraît der-

comme le pensent quelques physiciens, elles n'en seraient pas moins assujéties à la loi générale.

La similitude de tous les résultats nous conduit à cette conséquence, que l'attraction que semble posséder chacun des corps célestes, agit absolument suivant la même loi autour de chacun d'eux.

(110) On peut concevoir que *l'attraction que possède chaque corps céleste s'étend indéfiniment autour de lui ;* en sorte, par exemple, que l'attraction de la terre s'étend jusqu'à la lune, aussi bien que celle de la lune s'étend jusqu'à la terre. Cette dernière conjecture est mise hors de doute par le flux et reflux des eaux de la mer, dont les périodes s'accordent parfaitement avec les mouvemens lunaires. Newton conclut, en général, que si les planètes attirent leurs satellites, ceux-ci attirent aussi leurs planètes ; que si le soleil attire les planètes, il est aussi attiré par elles avec une certaine force ; de sorte que le soleil, les planètes, les comètes, les satellites, exercent des attractions les uns sur les autres. Cette conclusion est justifiée par les légères perturbations que les corps célestes éprouvent, et dont la mécanique trouve la cause dans leur influence mutuelle.

(111) Newton fut aussi porté à concevoir que *la propriété attractive est une qualité essentielle de la matière ;* d'où il suit que les attractions que les différens corps exercent les uns sur les autres, ne sont que les sommes des attractions particulières de toutes les particules

---

rière eux et qu'on nomme leur queue, était surtout ce qu'on redoutait le plus.

En admettant que certaines comètes décrivent des paraboles ou des hyperboles autour du soleil, il s'ensuivrait qu'après les avoir vues une fois, nous ne les reverrions jamais, parce qu'elles s'écarteraient indéfiniment de nous. C'est peut-être la cause pour laquelle plusieurs comètes qu'on a observées anciennement n'ont jamais reparu depuis.

dont ces corps sont composées. Par conséquent, plus un corps est grand, ou plutôt plus il a de masse, plus il exerce d'attraction sur les autres corps. Le soleil est plus grand qu'aucune des planètes ; chaque planète est aussi plus grande que chacun de ses satellites (*).

Lorsque deux corps sont en présence, il faut, pour juger de la force avec laquelle ils s'attirent, avoir égard à la masse de chacun d'eux ; mais lorsque l'une des masses est extrêmement grande par rapport à l'autre, on peut négliger l'attraction de la plus petite, pour ne considérer sa tendance vers la plus grande que comme le résultat de l'attraction de celle-ci. C'est ce qui a lieu à l'égard de la terre et des corps qui y sont disséminés ; tous ces corps sont des infiniment petits par rapport à elle, et l'attraction qu'ils exercent sur ce globe est comme zéro, par rapport à celle qu'il exerce sur eux (**).

Il faut aussi avoir égard à la distance qui se trouve entre les corps ; car l'intensité de l'attraction diminue rapidement à mesure que la distance augmente, puisque le calcul fait voir qu'elle agit en raison inverse des carrés des distances.

Ces considérations ont conduit Newton à ce principe général, qui est la base de tout son système planétaire ; *les molécules de la matière s'attirent en raison directe des masses et en raison inverse des carrés des distances.*

(112) *Conséquences du principe général de Newton.*

(*) Pour donner une idée de la grandeur du soleil, nous ferons remarquer que le rayon de cet astre est 112 fois plus grand que celui de la terre, et que la distance de la lune à la terre est d'environ 60 rayons terrestres ; d'après cela, si le centre du soleil coïncidait avec celui de la terre, sa surface s'étendrait à 52 rayons terrestres au-delà de la lune.

(**) Le rayon moyen du globe terrestre est de 6366745 mètres, ou environ 1432 lieues communes 4 dixièmes.

— Il suit de ce principe, que deux corps placés librement à une certaine distance, doivent s'attirer mutuellement ; c'est effectivement ce qui a lieu ; car 1.° les astronomes ont observé que, près des grandes masses de montagnes, le fil à-plomb n'est pas vertical, et qu'il se trouve attiré par la montagne ; mais l'angle que sa direction forme alors avec la verticale est toujours fort petit, parce que les masses des plus hautes montagnes sont encore très-petites par rapport à la masse entière de la terre qui, dès lors, a plus d'énergie pour attirer le corps.

2.° Cavendisch a prouvé aussi par des expériences très-exactes, faites avec la balance de torsion, que toutes les masses, de quelque grosseur qu'elles soient, s'attirent mutuellement, quoique placées à la surface de la terre qui les dérobe en grande partie à leur attraction mutuelle.

(113) La *balance de torsion* que nous devons à Coulomb est l'instrument le plus exact que nous possédions pour mesurer de très-petites forces. Elle consiste en un fil métallique, mince, aplati, attaché à un point fixe, et à l'extrémité libre duquel est suspendu horizontalement un levier d'environ deux mètres, qui porte à chaque extrémité une petite balle de plomb.

Tant que le fil de suspension n'est pas tordu, le levier reste en repos dans une certaine position ; mais lorsqu'il a été tordu, il tend à revenir à sa forme naturelle et à faire tourner le levier dans son plan horizontal pour le ramener à la ligne de repos. Les expériences de Coulomb ont prouvé que la *force de torsion* est proportionnelle à l'angle que le levier fait avec sa position stable d'équilibre. On peut mesurer cet angle au moyen d'un cercle gradué.

(114) *Détail de l'expérience de Cavendisch.* — Le levier étant en repos, on place latéralement et symétriquement vis-à-vis chacune de ses extrémités, une masse de plomb d'un diamètre et d'un poids donné. L'attraction de ces masses écarte le levier de sa position stable ; dès

lors le fil se tord, et bientôt il arrive un moment où la force de torsion fait équilibre à l'attraction; mais, comme le levier arrive vers sa nouvelle position avec une vitesse acquise, il la dépasse, puis revient sur ses pas, et oscille autour d'elle à la manière d'un pendule. L'observation fait connaître la durée de ces oscillations, et en comparant la longueur du levier à celle d'un pendule qui ferait ses oscillations dans le même temps, on en conclut le rapport de la force attractive de chaque masse à celle de la terre, et par suite, le rapport de la masse du globe à celle qui est mise en expérience.

(115) *Détermination de la densité moyenne de la terre.* — On peut déterminer rigoureusement le volume du corps soumis à l'expérience, ainsi que sa densité; de plus, on connaît approximativement le volume de la terre; d'où il suit qu'on peut ensuite, par un calcul simple, déterminer la densité moyenne du globe terrestre. Cavendisch a trouvé que la densité de l'eau étant 1, la densité moyenne du globe était d'environ 5, 5.

CHAPITRE VI.

Attraction de cohésion.

(116) On nomme *cohésion* la force avec laquelle les particules des corps adhèrent entr'elles, de manière à opposer plus ou moins de résistance à leur séparation.

On nomme *attraction de cohésion*, la force même qui sollicite les molécules des corps à adhérer entr'elles. Mais pour donner une idée plus nette de ce que l'on doit entendre par cette expression, nous rapporterons ici une expérience connue, pour ainsi dire, de tout le monde.

Expérience. — Si on prend deux balles de plomb, sur chacune desquelles on ait fait une petite facette avec un couteau, qu'on les réunisse par ces facettes, en les pressant fortement l'une sur l'autre, on verra qu'elles adhéreront avec beaucoup de force. Si on prend deux plaques de marbre ou de verre bien planes et bien polies, qu'on les fasse glisser l'une sur l'autre, en les pressant avec force pour qu'elles se touchent le plus exactement possible, on observera, en essayant de les séparer par un effort perpendiculaire à leur surface, qu'elles adhèrent aussi très-fortement entr'elles.

Conséquence de cette expérience. — Quelle est la cause qui détermine ces deux balles ou ces deux plaques à se joindre, et à ne former, pour ainsi dire, qu'un seul corps? C'est ce que nous ignorons; mais les choses se passent comme si les deux corps, par leur contact très-rapproché, s'attiraient mutuellement, ou, ce qui est la même chose, comme si chaque particule, qu'on peut concevoir à la surface d'une des plaques, attirait celle qui lui correspond dans la seconde. On a désigné cette tendance mutuelle apparente, qui n'a lieu que très-près du

contact, par le mot d'*attraction moléculaire*, qui indique seulement le phénomène et non la cause qui le produit.

(117) *L'attraction moléculaire diffère de l'attraction de gravitation*, en ce qu'elle n'agit qu'à des distances infiniment petites, en sorte que si l'œil peut saisir le moindre intervalle entre les corps qui s'attirent, elle ne peut avoir lieu. M. Laplace, dans l'intention de ramener ces deux genres d'attraction à la même loi, *suppose* que dans les corps, les diamètres des molécules sont incomparablement plus petits que les intervalles qui les séparent. De sorte que, quand l'intervalle entre les corps est appréciable à l'œil, il est excessivement grand par rapport aux molécules.

(118) Dans les expériences que nous venons de citer, on désigne plus particulièrement l'effet par le nom d'*attraction d'adhésion*. La force d'adhésion augmente avec l'étendue des surfaces, et varie suivant la nature des corps que l'on met en contact. On a remarqué que les corps, après avoir resté quelque temps adhérens, opposent plus de résistance à leur séparation, qu'au premier moment. On suppose, pour expliquer ce fait, que l'action prolongée de la force attractive sollicite les molécules à de petites oscillations, à la faveur desquelles il s'effectue un rapprochement plus intime et se forme un plus grand nombre de points de contact entre les deux surfaces.

(119) *Difficulté de réagréger immédiatement entre elles des particules très-divisées.* — Tout le monde sait qu'après avoir réduit un corps en poussière, on ne peut parvenir immédiatement à en réintégrer les particules, pour en former une masse solide ; c'est que ces particules étant très-grosses et très-inégales entr'elles, se trouvent, par là, trop éloignées pour pouvoir s'attirer mutuellement ; mais on conçoit que si elles étaient plus divisées, plus égales, l'espace qu'elles laisseraient entr'elles deviendrait moins considérable, et qu'elles pourraient se rapprocher assez pour s'attirer comme les deux plaques de l'expérience pré-

cédente; alors, on parviendrait à recomposer le corps solide qu'on a brisé.

(120) *Exemple de réintégration.* —On peut, avec une forte pression, rapprocher assez entr'elles les particules très-divisées d'une matière quelconque, pour qu'elles puissent se joindre et former une masse d'une certaine solidité. Nous citerons pour exemple, des carreaux fabriqués au moyen de la presse hydraulique (liv. 1 chap. 7), avec des terres réduites en poudre fine et n'ayant que l'humidité qu'elles prenaient naturellement dans les ateliers. Ces terres étaient exposées dans un moule à l'action de la presse, et il en sortait un carreau qui possédait déjà une assez grande solidité, que la cuisson augmentait ensuite.

(121) *Conséquence des expériences précédentes.* — En partant de ces expériences, on admet que les particules infiniment petites des corps sont agrégées entr'elles, comme en vertu d'une force attractive qu'elles exercent les unes sur les autres. Le phénomène, considéré sous ce rapport, prend plus particulièrement le nom *d'attraction de cohésion.*

(122) *Effet de l'attraction de cohésion.* — C'est de l'attraction de cohésion, plus ou moins modifiée par l'action du calorique, que dépendent les divers degrés de consistance que présentent un grand nombre de corps. C'est l'attraction de cohésion qui les fait résister plus ou moins à la fusion, à la solution, et qui les sollicite à repasser à l'état solide lorsqu'ils ont été fondus ou mis en solution par un liquide.

Lorsque les corps sont à l'état liquide, on peut concevoir que leurs particules sont écartées les unes des autres jusque vers les limites de leurs attractions mutuelles; mais lorsque la quantité de calorique qui avait produit cet effet, vient à diminuer, les particules se rapprochent, et bientôt elles s'agrègent de nouveau et reforment un corps solide.

Il faut concevoir que c'est en vertu de l'attraction de cohésion, que les corps solides résistent plus ou moins à

la fusion; ils ne passent à l'état liquide que quand l'accumulation du calorique, en eux, a pu vaincre l'adhérence mutuelle de leurs particules.

(123) *Modifications apportées à la cohésion des corps par la température.* — Si quelques corps, comme la cire à cacheter, le verre, etc., peuvent être amenés, par un certain degré de température, à une sorte de mollesse qui permet de les pétrir, de les contourner de différentes manières, il faut concevoir que l'action de la chaleur a écarté assez les molécules pour qu'elles puissent, en quelque sorte, rouler et glisser les unes sur les autres, sans cesser cependant d'adhérer entr'elles. On remarque effectivement que, par l'action de la chaleur, ces corps augmentent de volume. Le fer acquiert aussi une certaine mollesse lorsqu'il est chauffé au rouge cerise, de sorte qu'à cet état, on peut le forger plus facilement qu'à froid. La fonte, qui est extrêmement dure, acquiert, par une chaleur rouge cerise, un degré de mollesse tel, qu'on peut la couper avec une scie ordinaire aussi facilement qu'un morceau d'étain.

Si, à la température ordinaire, la plupart des métaux que nous employons habituellement, et particulièrement le plomb, l'étain, peuvent être forgés ou étendus et modelés de différentes manières par la pression, c'est que leurs molécules, à cette température, se trouvent déjà dans le même cas que celles du verre, de la cire à cacheter, etc., à une température plus élevée.

Enfin, il faut concevoir la même chose à l'égard des différens corps, comme les graisses, qui, même à la température ordinaire, conservent un état de mollesse extrême, qui permet à leurs molécules de rouler très-facilement les unes sur les autres en cédant au moindre choc. Ces corps sont comme les intermédiaires entre les solides et les liquides; mais ils prennent plus de consistance à une température plus basse.

(124) *Modifications apportées par le plus ou moins de contact des particules.* — On suppose que dans chaque

substance, l'attraction qui porte les molécules les unes vers les autres a son intensité particulière ; mais dans chaque espèce, les molécules sont unies avec d'autant plus de force, qu'elles se touchent plus exactement ; en sorte que si quelque circonstance tient les molécules plus écartées les unes des autres dans un cas que dans un autre, la cohésion du corps sera moins forte dans le premier cas que dans le second. C'est ainsi qu'on explique, par exemple, la différence de cohésion entre le marbre blanc et la craie, qui sont absolument de même composition. Un morceau de marbre de 10 grammes présente un volume beaucoup plus petit qu'un morceau de craie de même poids; d'où il suit que les particules sont plus rapprochées les unes des autres dans le marbre que dans la craie, et par conséquent, qu'elles sont en contact plus exact.

CHAPITRE VII.

De l'attraction de combinaison.

Quoique nous venions de voir à-peu-près tout ce qu'il importe à la physique de savoir, c'est-à-dire, comment les particules des corps solides sont agrégées entre elles, nous ne pouvons nous dispenser d'entrer dans quelques détails qui regardent particulièrement la chimie.

(125) Les corps inorganiques sont *simples* ou *composés*. Les corps simples sont ceux qui ne renferment qu'une seule espèce de matière dont les particules sont réunies entr'elles par l'attraction de cohésion ; tels sont, par exemple, les métaux.

Dans les corps composés, les particules réunies entre elles par l'attraction de cohésion, sont composées de diverses substances de nature différente, *combinées ensemble*. Le chimiste considère la combinaison de ces substances comme le résultat d'une attraction particulière des molécules de différentes espèces les unes pour les autres, et il désigne ce phénomène par le nom d'*attraction de combinaison*, d'*attraction de composition*, ou d'*affinité chimique*.

Dans les corps composés, comme le sel commun, l'alun, etc., il faut donc distinguer deux causes différentes qui concourent à leur formation. L'*attraction de combinaison* qui réunit les molécules simples d'espèces différentes, pour en former des particules composées, qu'on nomme *particules intégrantes*, et l'*attraction de cohésion*, en vertu de laquelle ces particules intégrantes sont agrégées entr'elles.

(126) *Différens genres de combinaison.* — On dit que deux ou plusieurs corps se combinent, toutes les fois qu'ils réagissent l'un sur l'autre, de manière à former un tout dont la plus petite partie renferme les composans dans la même proportion que le masse totale. Ainsi, on regarde comme une combinaison le mélange intime de divers liquides entr'eux, par exemple, de l'eau et de l'esprit de vin, de l'eau et des acides, etc. Cette espèce de combinaison peut avoir lieu sans limite dans toutes les proportions imaginables.

La dissolution d'un sel par l'eau est aussi une combinaison; elle a lieu dans toutes les proportions jusqu'à un certain terme, au-delà duquel l'eau ne peut plus dissoudre immédiatement aucune partie du sel. Il en faut dire autant de la dissolution d'un gaz par l'eau.

Dans ces deux genres de combinaison, le composé conserve toujours les propriétés principales des composans, comme la saveur, l'odeur, etc. Mais il a cependant des caractères propres qu'on trouve dans la pesanteur spécifique, qui est ordinairement plus grande que celle qu'on pourrait calculer d'après la nature et la quantité des composans, dans la manière de propager la chaleur, dans la capacité de calorique, etc., etc.

Il est un autre genre de combinaison très différent des premiers. Un grand nombre de corps ne se combinent entr'eux que dans un certain nombre de proportions toutes déterminées et constantes, et ne se combinent jamais dans les proportions intermédiaires. Le composé qui en résulte, possède des propriétés très-différentes de celles des composans. Par exemple, les deux gaz, hydrogène et oxigène, ne se combinent que dans la seule proportion de deux volumes de l'un, à un volume de l'autre; le résultat est de l'eau dont les propriétés diffèrent totalement de celles des composans.

(127) L'attraction de combinaison n'a lieu, comme l'attraction de cohésion, que lorsque les molécules sont à une

distance inappréciable les unes des autres; elle peut s'exercer entre des corps simples, entre des corps simples et des composés, ou entre des composés. On peut dire, en général, que tous les corps tendent à se combiner; mais cette tendance mutuelle n'a pas la même intensité dans tous, en sorte que de deux corps, l'un s'unira plus facilement à un troisième que l'autre, et généralement il y a autant d'intensités d'attraction diverse, que de corps différens.

(128) *Mesure de l'intensité de l'attraction de combinaison.* — On peut mesurer, jusqu'à un certain point, les rapports de ces tendances mutuelles d'un corps déterminé avec les différens autres corps, en examinant les composés où ce corps est combiné avec toute la quantité possible de tel ou tel autre: par exemple, si une quantité déterminée d'eau peut dissoudre une partie d'un sel, deux d'un autre, trois d'un autre, etc., on en conclura que les tendances mutuelles de l'eau et de ces sels sont représentées par les nombres 1, 2, 3, etc. Mais les forces qui sollicitent les différens corps à s'unir entr'eux, peuvent être modifiées par un grand nombre de circonstances, comme la cohésion, la température, etc., etc.; de sorte que la détermination des intensités d'attraction devient souvent extrêmement difficile.

(129) *Causes modifiantes.* —La cohésion qui existe entre les particules respectives de deux corps, apporte toujours un obstacle à leur combinaison; si elle est égale à leur attraction mutuelle, ou si elle est plus grande, la combinaison n'a pas lieu; si elle est plus petite, elle agit seulement pour diminuer l'attraction. Par exemple, si la tendance mutuelle de deux corps est représentée par 8, et que la somme de leurs cohésions respectives soit représentée par 3, les deux corps n'agiront l'un sur l'autre que comme s'ils avaient une tendance mutuelle représentée par 5.

Lorsqu'on fait agir de l'eau sur un sel, on peut considérer qu'il existe deux forces opposées, savoir: l'attraction mu-

tuelle des deux corps, qui tend à les combiner, et la force de cohésion, qui tend à conserver le sel à l'état solide. Il n'y aura de solution qu'autant que la première force prévaudra, et alors les deux corps agiront l'un sur l'autre, jusqu'à ce que la tendance mutuelle résultante soit satisfaite; à ce point, il ne sera plus possible de faire dissoudre la plus petite quantité de sel.

C'est alors qu'on peut connaître l'influence de la température; car si on fait chauffer le liquide, on verra une nouvelle partie de sel se dissoudre, et il se formera un nouveau point de *saturation*. La chaleur agit ici pour diminuer la force de cohésion du sel, et peut-être aussi pour augmenter l'affinité mutuelle.

(130) Dans une dissolution saturée, on doit concevoir qu'il y a équilibre entre l'attraction de cohésion des particules du corps solide dissous, et l'attraction mutuelle de ce corps et de l'eau; en sorte que la plus petite augmentation de cohésion doit faire repasser une partie du sel à l'état solide. Ainsi, toute solution qui, après avoir été saturée à la température ordinaire, a pris, par l'application de la chaleur, une nouvelle quantité de sel, la dépose en refroidissant; c'est ce que l'on peut voir en faisant dissoudre, dans de l'eau bouillante, autant d'alun qu'il sera possible: tant que la dissolution sera chaude, il ne se passera rien; mais aussitôt qu'elle refroidira, on verra une partie du sel se déposer en masse solide ou en cristaux octaèdres, *fig.* 24.

La même chose arrive lorsqu'on diminue la quantité de liquide par l'évaporation. Dans les deux cas, on rapproche les molécules, et on les replace dans leur sphère d'attraction mutuelle de cohésion.

(131) Les détails dans lesquels nous venons d'entrer nous paraissant suffisans pour notre objet, nous renvoyons tous les autres à la partie chimique.

LIVRE DEUXIÈME.

CORPS SOLIDES.

Nous considérerons d'abord les propriétés que les corps nous présentent à l'état de solidité ; puis nous examinerons les diverses circonstances que ces propriétés déterminent dans leurs mouvemens.

PREMIÈRE SECTION.

PROPRIÉTÉS DES CORPS SOLIDES.

CHAPITRE PREMIER.

Figure de ces corps.

(132) Parmi les formes sous lesquelles les corps solides inorganiques se présentent à nous, il en est un grand nombre qui sont produites par l'art ; d'autres qui résultent de quelques causes mécaniques accidentelles, qui ont agi sur les corps après leur première formation, les ont brisés, ont roulé et arrondi leurs fragmens ; d'autres, enfin, qui tiennent immédiatement à la manière dont les particules intégrantes se sont arrangées dans l'acte de solidification : ce sont ces dernières qui nous occuperont ici.

Les formes naturelles des corps inorganiques sont régulières ou irrégulières.

(133) *Les formes régulières*, qu'on désigne sous le nom de *cristaux*, sont des polyèdres terminés par des facettes planes, unies, régulières, et quelquefois aussi brillantes

que si on les eût fait tailler par un lapidaire; nous citerons ici, comme exemple, le *cristal de roche* qui offre fréquemment, avec une parfaite transparence, des aiguilles prismatiques hexaèdres, terminées par des pyramides à six faces, *fig.* 25; l'*alun* qui cristallise en octaèdre, *fig.* 24; le *sel commun* qui crisallise en cube, *fig.* 26, etc.

Les formes régulières se trouvent abondamment dans la nature, et tous les jours nous en obtenons de diverses manières dans nos laboratoires, soit en abandonnant à elle-même la dissolution d'un solide dans un liquide; soit en laissant refroidir lentement un corps qui a été fondu; soit aussi en réduisant en vapeurs quelques corps qui en sont susceptibles, et qui se déposent en cristaux à la parois supérieure du vase où se fait l'opération.

(134) *Les formes irrégulières* se présentent sous différens aspects : tantôt ce sont des aiguilles sillonnées, cannelées sur leur longueur; tantôt ce sont des masses dont la structure est très-variable; ici, ces masses sont composées de lames assez étendues, appliquées les unes sur les autres, ou de petites lames entremêlées; là, c'est un amas de fibres droites ou contournées, parallèles, divergentes ou entrelacées; ailleurs, c'est un amas de grains plus ou moins fins qui souvent ont peu d'adhérence entr'eux; ou enfin, ce sont des masses compactes, dans lesquelles on ne reconnaît plus ni lames, ni fibres, ni grains.

(135) *Causes de ces différences.* — Il paraît que ces différences tiennent aux diverses circonstances qui accompagnent l'aggrégation des particules. On remarque, dans nos laboratoires, que les dissolutions ne donnent de beaux cristaux, que quand la masse du solvant est telle que les molécules du corps solide ne sont ni trop écartées les unes des autres, ni trop rapprochées.

Si la quantité de liquide est trop grande, on n'obtient que de très-petits cristaux, qui sont ordinairement très-nets et très-brillans. Si, au coutraire, la quantité de liquide est trop petite, toute la masse se solidifie subitement, et il en

résulte des cristaux entremêlés comme on le voit dans les masses de sel marin, ou des aiguilles comme on le voit souvent dans le salpêtre, ou bien un amas de petites lames brillantes comme on le voit dans le sucre en pain.

En général, pour qu'il se forme des cristaux d'un certain volume, il faut que le liquide soit en certaines proportions avec la quantité de matière qu'il tient en solution; et pour que les cristaux soient bien réguliers, il faut que la cristallisation se fasse lentement, et qu'elle ne soit tourmentée par aucune cause extérieure qui puisse troubler le mouvement intérieur produit par les attractions réciproques des particules.

Des circonstances analogues se présentent dans le passage des corps liquides à l'état solide.

(136) *Variations des formes régulières.*—Un même corps est souvent susceptible de prendre, en cristallisant, des formes régulières très-variées et très-différentes les unes des autres; mais, en examinant ces formes, on reconnaît souvent immédiatement qu'elles ne sont que des modifications les unes des autres; en sorte que telle forme ne diffère de telle autre, que parce que les angles solides ou les bords sont remplacés par des plans ou facettes plus ou moins nombreuses, *fig.* 27 et 28. En suivant ces facettes sur divers échantillons, on les voit s'étendre successivement, en masquant de plus en plus la forme qu'elles modifient : ainsi, il est évident, qu'en prolongeant les facettes *a*, *fig.* 27, on masquerait entièrement le cube et on produirait l'octaèdre régulier, *fig.* 24; de même, en prolongeant les facettes *a*, *fig.* 28, on produirait le dodécaèdre rhomboïdal, *fig.* 29. Ces formes nouvelles peuvent elles-mêmes être modifiées de diverses manières par d'autres facettes.

Il n'y a pas de substance qui soit plus féconde en variétés de formes, que celle qui est connue en minéralogie sous le nom de *chaux carbonatée;* cette substance se présente tantôt sous la forme de rhomboïde (figure à six plans égaux et semblables, également inclinés sur l'axe), depuis le

rhomboïde très-aplati, *fig.* 30, jusqu'au rhomboïde le plus aigu, *fig.* 31; ailleurs elle se présente sous la forme d'un prisme hexaèdre, *fig.* 32, qui peut être produit de deux manières; ces prismes sont quelquefois terminés par des pyramides, *fig.* 33, 34, 35, 36; ailleurs elle prend la forme *fig.* 37, etc., etc.

(137) *Rapport de ces formes entr'elles.* —Quelles que soient les différences que puissent avoir entr'eux les cristaux d'une même substance, ils se rapportent tous à un type commun et invariable; ils sont composés de particules intégrantes qui ont une forme déterminée, régulière et constante dans la même espèce, et qui, par divers arrangemens les unes autour des autres, peuvent produire un grand nombre de formes régulières différentes. Pour se convaincre de l'existence de ces particules régulières et constantes, il suffit de rassembler, par exemple, une suite de cristaux de chaux carbonatée, les plus différens les uns des autres qu'on pourra trouver, et de briser séparément chaque cristal; on tirera constamment de chacun d'eux des particules rhomboïdales dont les angles plans des faces sont de

$101^d\ 32'\ 13''$, et $78^d\ 27'\ 40''$, *fig.* 38.

Un grand nombre de substances présentent, de même par la division, des particules régulières et de forme constante dans la même espèce; ainsi, tous les cristaux de sel commun donnent constamment, par la division, des particules cubiques; d'autres substances donnent des tétraèdres réguliers, etc.

Il existe cependant des substances qui, par la division, ne présentent que des particules irrégulières; mais puisque ces substances présentent des cristaux réguliers variés de différentes manières, il est assez naturel de conclure que leurs particules intégrantes ont aussi une forme déterminée et constante.

(138) *Arrangement des particules primitives dans les formes secondaires.*— Il nous reste actuellement à faire voir comment ces particules de formes simples peuvent

s'arranger entr'elles, pour donner naissance à des cristaux réguliers plus ou moins compliqués; l'examen des figures 39 à 47 en donnera tout de suite une idée générale. Nous y avons snpposé, ponr plus de simplicité, des particules cubiques. Ces sortes d'arrangemens se présentent d'une manière évidente dans un assez grand nombre de cristaux naturels. Nous ferons remarquer qne les inégalités ne sont sensibles dans les figures, qne parce que nous y avons employé des particnles très-grossières; elles seraient inappréciables, si nous avions employé, comme la nature, des particules infiniment petites.

Il paraît que les figures régulières qui peuvent se former, dépendent du nombre des molécules qui, dans l'acte comme spontané de solidification, sont sollicitées à se réunir entr'elles; ainsi, il ne se formera jamais de solides cubiques, *fig.* 39, à moins que les molécules ne soient sollicitées à se réunir en nombres cubiques, comme 8, 27, 64, 125, etc.; avec quelques-uns de ces nombres, il pourra se former aussi des lames carrées ou rectangulaires, des parallélipipèdes rectangulaires; mais il ne pourra se former aucun des solides suivans.

Il se formera des octaèdres réguliers fig. 24, 40, 41, lorsque les molécules seront sollicitées à se réunir en un des nombres 7, 21, 46, 87, etc., et ces nombres ne peuvent produire aucune autre figure simple.

Il se formera des dodécaèdres à plans rhomboïdaux réguliers, *fig.* 29, 42, 43, lorsque les molécules seront portées à se réunir en un des nombres 33, 185, 553, etc. Ces nombres de molécules ne peuvent évidemment produire des cubes; ils ne peuvent non plus produire ni des octaèdres ni le solide suivant.

Il se formera un solide à vingt-quatre faces triangulaires, *fig.* 44, 45, 46, dont les inclinaisons des faces entr'elles ont de 126^d 56', et de 154^d 9' quand les molécules se réuniront en un des nombres 151, 885, 1973, etc.

Nous pourrions pousser plus loin ces considérations pour produire d'autres formes; mais déjà, d'après ce que nous avons dit, on doit voir qu'avec des particules cubiques, il se formera plus souvent des octaèdres et des cubes, que tout autre solide, parce que les nombres de molécules nécessaires sont plus simples. Il pourrait aussi se former assez facilement des pyramides quadrangulaires, *fig.* 47, dont l'inclinaison des faces serait de 120^{d}, et qui sont les élémens du dodécaèdre rhomboïdal. Les nombres de molécules nécessaires à la formation de ces pyramides, sont 10, 35, 84, etc.; ils sont assez simples, mais ils ne peuvent donner naissance à aucune autre figure régulière simple.

(139) *Division mécanique des cristaux.*—Dans les solides que nous venons de considérer, on peut toujours concevoir un cube intérieur, le plus grand qui puisse y être contenu. Ce cube est tantôt une simple molécule, et tantôt il est composé de plusieurs. On peut, en partant de chaque sommet d'un de ces solides, enlever des lames successives et mettre bientôt ce cube à découvert. On peut aussi faire une opération semblable sur les cristaux de diverses substances, par exemple, sur ceux de carbonate de chaux, tantôt en partant de quelques angles solides, tantôt en partant de quelques arrêtes; on finit de même par arriver à un solide simple qui semble avoir été enfermé dans le cristal.

Ce sont ces solides intérieurs que M. Haüy a nommés *formes primitives*; ce savant conçoit ensuite des lames décroissantes en gradins qui viennent s'appliquer sur lui de différentes manières. Ainsi, en partant d'une forme primitive cubique, on peut concevoir la formation d'un dodécaèdre rhomboïdal, *fig.* 29, 42, 43, par l'application d'une pyramide dont les gradins décroissent d'une rangée sur chacune des faces du cube. On peut de même concevoir la formation du solide à vingt-quatre faces triangulaires, *fig.* 44, 45, 46, par l'application d'une pyramide dont les gradins décroissent par deux rangées sur chacune

des faces d'un cube. On peut concevoir également la formation de l'octaèdre régulier, *fig.* 24, 40 et 41, par des lames décroissantes d'une rangée sur les angles solides du cube.

(140) En général, on peut se proposer ce problème: *Connaissant la forme primitive d'une substance, déterminer de quelle manière les lames doivent être superposées sur elle et décroître, pour former tel ou tel cristal, dans la même substance, et, d'après cela, déterminer exactement les inclinaisons des faces les unes sur les autres.* (Voyez les belles solutions données par M. Haüy, dans son Traité de Minéralogie, tom. I et II).

(141) *Réflexions.* — Cette manière simple et ingénieuse de concevoir la formation d'un cristal, a fait faire de grandes découvertes à la minéralogie; mais on se tromperait si on imaginait que la nature commence toujours par former le solide primitif, pour y appliquer ensuite des lames décroissantes. L'inspection des cristaux, qui souvent sont d'une petitesse extrême, quoique déjà très-compliqués, semble au contraire annoncer que ces formes régulières ont été produites d'un seul jet. D'un autre côté, on peut observer que la plupart des grands cristaux ne sont que des amas de cristaux plus petits, souvent semblables au grand cristal qu'ils ont composé par leur arrangement régulier, quelquefois différens. Nous pouvons citer, pour exemple, des *cristaux de roche* réguliers, *fig.* 25, formés d'un amas de petits cristaux de même forme; des cristaux octaèdres de *fluate de chaux* (spath fluor), qui sont formés par des petits cubes bien distincts et assez gros, comme *fig.* 40 et 41; de grands cristaux de *carbonate de chaux*, de la forme *fig.* 37, qui résultent de l'agrégation de petits cristaux de même forme; des cristaux de cette même substance et de la forme *fig.* 35, qui résultent de l'agrégation de petits cristaux rhomboïdaux, de la forme *fig.* 30, etc.

Nous pourrions citer beaucoup d'autres exemples dans toutes les substances.

D'après ces considérations, il nous paraîtrait probable que dans l'acte comme instantané de la solidification, les molécules se trouvent sollicitées, par une cause que nous ne connaissons pas, à se réunir en tel ou tel nombre, comme nous l'avons dit ci-dessus; et qu'alors il se forme, comme spontanément, divers solides, peut-être d'abord extrêmement petits, mais qui, ensuite, sont eux-mêmes sollicités à se réunir en d'autres nombres, pour former d'autres figures, tantôt semblables à eux, tantôt différentes. Ces figures, simples ou composées, peuvent être modifiées, après coup, par une nouvelle application de particules matérielles sur leurs angles ou sur leurs faces; on en voit beaucoup d'exemples remarquables dans les collections; ainsi, on trouve souvent, parmi les cristaux de carbonate de chaux du hartz, des prismes hexaèdres transparens, qui étaient primitivement terminés par des pyramides trièdres plus ou moins surbaissées, mais qui ont été recouverts, après coup, de carbonate de chaux opaque, qui a fait disparaître les pyramides et a terminé le prisme régulièrement par une face horizontale. Ailleurs, ces nouveaux dépôts se sont formés sur les arrêtes du cristal seulement, et le milieu de la face est resté vide; dans d'autres cas, au contraire, le dépôt s'est formé au centre de la face, et n'a pas atteint les arrêtes. Nous pourrions citer une multitude d'exemples analogues.

CHAPITRE II.

De la porosité des corps solides.

(142) Quoique l'attraction moléculaire n'agisse que quand les molécules sont infiniment rapprochées les unes des autres, il paraît cependant que dans leurs réunions, ces molécules ne se trouvent pas en contact immédiat; car l'intérieur des corps solides est criblé d'une infinité de petites vacuoles, auxquelles on a donné le nom de *pores*. En France, la plupart des physiciens pensent même qu'il existe plus de vide que de plein, c'est-à-dire, que la distance entre les molécules des corps, est incomparablement plus grande que les diamètres de ces molécules; c'est ce qu'il faut admettre, pour faire rentrer l'attraction moléculaire sous la même loi que l'attraction planétaire, qui agit en raison inverse du carré de la distance entre les corps qui s'attirent (107). On regarde aussi en France la porosité comme une qualité essentielle de la matière; mais la plupart des physiciens allemands regardent, au contraire, cette propriété comme accidentelle.

Quoi qu'il en soit, on prouve la porosité des corps solides par diverses expériences.

(143) *Preuves de la porosité des corps solides.* — La peau est un corps très-poreux; car si on enferme du mercure dans une peau dépouillée de son épiderme, et qu'on le soumette ensuite à une pression même assez faible, on voit ce métal sortir sous la forme d'une pluie fine. Nous disons une peau dépouillée de son épiderme, parce que l'épiderme est beaucoup moins poreux; la peau de mouton surtout est dans ce cas : on s'en sert souvent pour former des sacs qui servent à transporter le mercure.

Les fontaines filtrantes de pierre, dont nous nons servons dans nos maisons, nous offrent une preuve de la porosité de la pierre qu'on emploie à leur construction.

Les métaux sont eux-mêmes très-poreux; car, si on remplit d'eau une boule métallique à parois minces, et qu'après l'avoir bien bouchée, on la soumette à l'action d'une presse, on voit le liquide paraître à la surface comme une rosée. La substance métallique la plus poreuse est *la fonte de fer ;* on a eu, à Paris, une preuve de sa porosité dans une presse hydraulique, dont le cylindre où devait se mouvoir le piston, était creusé dans une masse de fonte. Lorsqu'on voulut faire agir la machine, l'eau s'échappa de toutes parts à travers les pores du métal; on fut obligé, pour parer à cet inconvénient, de doubler l'intérieur du cylindre en cuivre, métal qui se trouva assez compact pour retenir l'eau, quelle que soit la pression qu'on lui fit supporter.

Il existe beaucoup de corps dans lesquels il est difficile de reconnaître la porosité. Le *verre*, par exemple, est dans ce cas; mais la faculté de diminuer de volume, en passant d'une certaine température à une autre plus basse, semble prouver que, dans le premier cas, les molécules étaient plus écartées les unes des autres que dans le second, et partant, que le verre est un corps poreux, quoique ses pores soient imperceptibles à nos sens.

La *faculté* qu'ont certains corps d'*imbiber les liquides* est encore une preuve de porosité; mais on remarque que tous les corps n'imbibent pas indifféremment tous les liquides; le marbre, par exemple, n'imbibe pas l'eau, tandis qu'il imbibe facilement l'huile et les corps gras fondus; le bois, au contraire, imbibe plus facilement l'eau que l'huile.

(144) *Phénomènes particuliers produits par l'imbibition des liquides.* — Il y a des liquides qui, en s'introduisant dans les solides, en augmentent plus ou moins le volume. L'eau, par exemple, produit cet effet sur presque tous les corps; mais l'huile peut imbiber un corps, sans que, pour cela, il change de volume, c'est ce dont on

peut se convaincre, en laissant imbiber d'huile une petite bande de papier, après l'avoir mesurée exactement. Une chose remarquable, c'est que l'eau peut pénétrer encore dans une substance imbibée d'huile, et en augmenter presqu'autant le volume que si l'huile ne s'y trouvait pas.

Les substances dont les particules ont entr'elles une force de cohésion assez considérable, comme, par exemple, le marbre, n'augmentent pas sensiblement de volume par l'imbibition de l'eau; mais celles dont la force de cohésion n'est pas aussi grande, augmentent alors plus ou moins dans toutes leurs dimensions, comme l'*argile*, la *craie*, etc.; mais c'est surtout dans les corps organiques desséchés, ou dans les corps composés de matières organiques, que l'augmentation de volume est très-considérable; c'est ce qu'on peut observer dans le bois, le papier, etc.

On sait que les tonneaux qu'on a laissé dessécher se déjoignent et ne peuvent plus contenir les liquides; mais si on les laisse séjourner qnelque temps dans l'eau, les bois se gonflent, et les ouvertures qu'ils laissaient entr'eux se trouvent fermées.

Si, après avoir mesuré une petite bande de papier, on la trempe dans l'eau pendant quelques instans, on reconnaîtra, en la mesurant de nouveau, qu'elle est augmentée dans toutes ses dimensions; mais elle revient à sa première grandeur par le dessèchement. On fait cette sorte d'expérience *toutes les fois qu'il s'agit de tendre une feuille de papier sur un cadre.* On commence par la mouiller, puis on colle ses bords sur ceux du cadre. Dans cet état, la feuille de papier est agrandie dans toutes ses dimensions; mais le dessèchement la ramenant vers sa première grandeur, elle se tend dans toutes ses parties; toutefois il peut arriver alors qu'elle se décolle ou même se déchire. Ce dernier effet se manifeste aussi dans les boiseries qu'on a construites en bois verts ou humides; elles se déjoignent par le dessèchement, ou même se fendent, si les jointures sont trop solides pour céder.

Il existe plusieurs corps qui s'allongent dans les temps humides, en absorbant l'eau qui se trouve alors dans l'atmosphère; ceux de ces corps qui sont tortillés, comme les *cordes à boyaux*, s'allongent et se détordent en même temps.

Les corps peuvent avoir leurs parties tellement disposées, que, par l'imbibition, il y ait allongement dans un sens, et rétrécissement dans l'autre. Les cordes en sont un exemple. *Lorsqu'on plonge une corde dans l'eau*, elle augmente de diamètre et diminue de longueur. Ces deux effets sont conséquens l'un de l'autre; ils sont dus à l'obliquité des fibres qui sont tortillées en spirale. La corde, par le dessèchement, reprend bien un peu de longueur; mais elle ne revient jamais à son état primitif, parce que les particules éprouvent trop de frottement pour pouvoir glisser les unes sur les autres.

Les toiles, qui peuvent être regardées comme composées de petites cordes croisées, *se rétrécissent à l'eau dans tous les sens, lorsqu'elles sont neuves;* en même temps, leur tissu devient plus serré. Après avoir été mouillées plusieurs fois, elles ne se rétrécissent plus.

Si, au contraire, on mouille un morceau de vieille toile, on trouve qu'il s'élargit dans tous les sens; mais il revient à sa première grandeur par le dessèchement. Il est facile de concevoir que la cause de cet effet tient à ce que les fils de la toile se sont détordus par le long usage, et que les parties qui les composent sont devenues parallèles.

Lorsque, pendant l'imbibition, le liquide ne pénètre pas également dans toutes les parties, le corps se déforme plus ou moins. Par exemple, si on mouille une feuille de papier sur une face seulement, elle se courbe à l'instant de l'autre, parce que la première face se trouve agrandie par l'action du liquide, tandis que la seconde ne l'a pas été.

Si nos boiseries se déforment, se courbent dans les endroits humides, c'est parce que l'humidité les agrandit

sur la face qui regarde la muraille, tandis que l'autre face reste intacte. Ordinairement on fait peindre à l'huile la surface extérieure des boiseries, tandis que celle qui regarde la muraille reste à nu. Ce moyen ne fait encore que hâter la destruction; car si la face extérieure pouvait aussi s'imbiber d'humidité, la boiserie se déformerait moins. Il vaudrait donc mieux faire peindre la face intérieure, ou plutôt les faire peindre toutes deux.

On trouve dans les arts beaucoup d'applications qui se rapportent à ce genre d'effet. Lorsqu'on veut courber une pièce de bois, par exemple, on allume du feu sous la face par laquelle on veut qu'elle se courbe, et l'on mouille la face opposée; le feu enlève l'humidité de la première face et la retrécit; l'humidité dilate la seconde. Ces deux effets, concourant au même but, courbent la pièce, quelque grosse qu'elle soit.

Lorsque les ébénistes veulent coller quelques plaques très-minces d'un bois précieux sur un bois commun, ils mettent de la colle sur les deux faces, afin qu'elles se trouvent également humides; sans cette précaution, les bords de ces plaques se releveraient en coquilles.

Si on veut écrire quelque chose en relief sur une pièce de bois, on y peut parvenir d'une manière très-simple. Il faut d'abord l'écrire en creux, en enfonçant le bois avec un poinçon; puis raboter la surface jusqu'à faire disparaître les trous, et plonger ensuite la pièce de bois dans l'eau; dès lors la matière se gonfle, et les parties qui avaient été comprimées reprenant leur premier volume, les lettres se trouvent en relief.

(145) Ce qui est très-remarquable, c'est la force prodigieuse avec laquelle agit le liquide pour augmenter le volume du corps. On a fait quelquefois usage de cette force pour produire de grands efforts. Par exemple, *lorsqu'on veut diviser un bloc de pierre en deux*, on se contente quelquefois de faire, avec le ciseau, des entailles étroites et profondes, dans lesquelles on introduit avec force des coins

de bois tendre séchés au feu, on mouille ensuite ces coins, et l'augmentation de leur volume suffit pour faire éclater la masse. C'est la méthode qu'on pratique souvent en France, pour débiter les meules de moulin, et en Italie, pour débiter les pierres dures dans les carrières.

(146) On a aussi employé quelquefois cette force d'une autre manière, pour raccourcir les cordes et soulever le fardeau dont elles étaient chargées. Nous pouvons, à cet égard, citer une anecdote particulière. Sous le pape Sixte-Quint, on élevait à Rome un obélisque, apporté d'Egypte, dont le poids considérable donnait tant d'inquiétude aux architectes, que l'on avait ordonné, *sous peine de mort*, le plus profond silence. Le nombre des spectateurs était immense. Des machines nombreuses étaient employées à soulever la masse; elle se trouvait déjà presqu'au niveau du piédestal; mais les cordes, surchargées d'un poids si considérable, s'étaient allongées, et l'on désespérait de pouvoir parvenir à la soulever à la hauteur convenable, lorsque, du milieu de la foule, une voix s'écria : *mouillez les cordes* (*); on le fit, et l'obélisque fut aussitôt placé.

(*) C'était la voix de l'architecte Zapaglia de Ferrare.

CHAPITRE III.

Impénétrabilité.

(147) Un espace limité d'une manière quelconque, ne saurait être occupé à-la-fois complètement par un corps, et complètement aussi par un autre. Par conséquent, si un corps occupe un espace, il en exclut nécessairement tout autre. C'est cette propriété qu'on a désignée par le nom d'*impénétrabilité*. Tous les corps qui ne sont pas susceptibles de se combiner chimiquement, lorsqu'on les met en présence, sont impénétrables les uns pour les autres.

Il est inutile d'entrer dans aucun détail pour prouver que les corps solides sont impénétrables entr'eux, puisqu'évidemment un tel corps ne peut occuper la place d'un autre sans le déplacer; mais si on veut prouver que les corps solides sont également impénétrables aux liquides, aux fluides aériformes, il faut, pour se former une idée exacte de cette propriété, distinguer soigneusement le volume du corps, ou sa grandeur apparente, de l'espace réel qu'il occupe : par exemple, un monceau de sable présente un certain volume; mais cette grandeur apparente n'indique pas l'espace réel occupé par le sable, parce qu'il se trouve entre chaque grain, une certaine étendue qui pourrait être occupée par un autre corps. Néanmoins, il existe sous ce volume une certaine quantité de parties qui occupent seules les places qu'elles ont, et qui en excluent tout autre corps. Il résulte de ces observations que l'impénétrabilité doit être entendue le plus souvent des parties solides qui se trouvent dans le corps, et non du volume même de ce corps; ainsi, quoiqu'un tas de sable puisse laisser pénétrer en lui une certaine quantité d'eau, il n'en est pas moins impénétrable,

parce que le volume d'eau imbibé n'excède jamais celui que représente la somme des vides qui se trouvent entre les différens grains.

(148) Si quelques liquides peuvent s'introduire dans certains corps solides, c'est à la faveur des pores imperceptibles dont ces substances sont criblées. Les fluides aériformes s'introduisent dans les corps par le même moyen; l'analogie porterait à croire qu'il en est de même à l'égard des fluides incoërcibles.

Si on peut enfoncer un clou dans du bois, du plomb, de la cire, etc., c'est en vertu d'une autre propriété des corps, la *compressibilité*, qui dépend aussi, à ce qu'il paraît, de la porosité; ou bien, en vertu de ce que les particules des corps sont agrégées entr'elles de manière à pouvoir se déplacer facilement, en glissant les unes sur les autres.

CHAPITRE IV.

De la divisibilité des corps solides.

(149) Nous avons déjà distingué (3) la divisibilité géométrique et la divisibilité physique. La première est illimitée; on ignore si la seconde l'est aussi. Tout ce que l'expérience apprend, à cet égard, c'est qu'il existe plusieurs corps qu'on peut diviser en particules si tenues qu'elles deviennent isolément imperceptibles à nos sens.

On sait qu'on peut, avec plus ou moins de facilité, diviser un corps solide en particules extrêmement fines, en un mot, le réduire en poussière; mais les particules acquièrent bientôt une ténuité telle qu'il n'est plus possible de les isoler pour les soumettre à de nouvelles opérations mécaniques; cependant, si on regarde ces particules au microscope, elles paraissent encore très-grosses, et on voit clairement que si on possédait des instrumens assez délicats, on pourrait encore les diviser.

On peut diviser un corps en particules si fines, qu'étant agitées dans l'eau, elles y restent suspendues pendant plusieures heures, même plusieurs jours, avant de se déposer. On emploie même ce moyen pour se procurer certaines couleurs en particules excessivement fines, ou bien pour obtenir des poudres très-fines de diverses matières qui servent à polir les différens corps.

C'est ainsi qu'on prépare la couleur bleue connue sous le nom d'*azur*, et qui n'est qu'un verre coloré par le cobalt. On broye ce verre et on agite sa poussière dans l'eau; on laisse ensuite déposer les parties les plus grossières et on tire le liquide à clair; on le laisse alors se reposer pendant une heure; on le transvase de nouveau pour le laisser re-

poser une autre heure, et ainsi de suite jusqu'à quatre fois. Le dépôt qui se forme après la quatrième heure, porte le nom d'*azur des quatre feux*; les autres dépôts portent les noms d'azur des 1.er, 2.me et 3.me feux. On suit un procédé semblable pour se procurer les émerils connus dans le commerce sous les noms d'émeril d'une minute, deux minutes, trois minutes, etc., et dont on se sert pour disposer les corps au poli.

(150) *Divers exemples prodigieux de divisibilité.*— Pour faire juger de l'extrême ténuité des particules d'azur des quatre feux, nous rapporterons ici une expérience facile à faire : cinq centigrammes de cette poudre colorent très-sensiblement dix kilogrammes d'eau ; or, ces dix kilogrammes renferment dix milles centimètres cubes (79), et chaque centimètre cube renferme mille millimètres cubes, ce qui fait dix millions de millimètres cubes pour les dix kilogrammes. C'est bien le moins d'admettre que chaque millimètre cube renferme une particule de matière colorante; et dans cette supposition, qui certainement est beaucoup au-dessous de la réalité, on aurait déjà *dix millions de ces particules dans cinq centigrammes d'azur*, qui forment environ le poids et le volume d'un grain de blé.

Les galons, qu'on nomme galons d'or, sont formés de fils d'argent doré, applatis et extrêmement fins, qui recouvrent des fils de soie.

Pour préparer ces fils métalliques, on commence par dorer un lingot d'argent (*) d'une certaine grosseur ; on fait passer ensuite ce lingot par les différens trous d'une

(*) Pour dorer ce lingot, on le couvre d'une certaine quantité d'alliage de mercure et d'or (amalgame d'or). On fait ensuite vaporiser le mercure par l'action de la chaleur ; et l'or, qui n'est pas volatil, reste appliqué à la surface du lingot.

filière (*), et lorsqu'il est réduit à la grosseur d'un cheveu, on l'aplatit en le passant entre les rouleaux d'un laminoir (**).

Un lingot d'argent du poids de dix-huit grammes peut être doré avec cinq centigrammes d'or. (Un volume d'or à-peu-près égal à celui d'une tête d'épingle ordinaire un peu forte). Ce lingot, étiré en fil fin et aplati, peut avoir six mille mètres de longueur (environ une lieue et demie), sur un quart de millimètre de large : comme il est doré sur deux faces, on peut supposer ces faces bout à bout, ce qui ferait douze mille mètres de longueur; de plus, il peut être divisé en quatre sur sa largeur, ce qui donne quarante-huit mille mètres de longueur, ou quarante-huit millions de millimètres. Chaque millimètre de longueur peut être divisé facilement en seize parties visibles, ce qui forme par conséquent *sept cent soixante-huit millions de parties visibles dans les cinq centigrammes d'or*. Nous avons jusqu'à présent négligé les deux faces latérales du fil, qui sont aussi dorées; en les amenant dans le calcul, on aurait encore douze mille mètres de longueur, ou douze millions de millimètres, dont chacun peut être divisé en seize, ce qui donnerait cent quatre-vingt-douze millions de particules, qui ajoutées à sept cent soixante-huit millions, formeraient un total de *neuf cent soixante millions*

(*) On nomme *filière* une plaque d'acier percée de trous de différens diamètres, depuis la grosseur du doigt, par exemple, jusqu'à celle d'un cheveu.

(**) Les pièces principales d'un laminoir sont deux rouleaux d'acier trempé, placés horizontalement, qu'on approche plus ou moins l'un de l'autre, par le moyen de quelques vis de pression, et qu'on fait tourner sur leurs axes au moyen d'un engrainage mis en mouvement par une force quelconque.

C'est entre ces rouleaux qu'on fait passer et repasser, à plusieurs reprises, et dans le sens de leur marche, les métaux qu'on veut réduire en feuilles.

de parties visibles à l'œil nu. On estime que la pellicule d'or qui couvre ces fils n'a pas plus de la deux cent vingt-deux millième partie d'un millimètre, d'épaisseur.

(151) *A peine croira-t-on qu'il existe des animaux infiniment plus petits* que les particules que nous venons de citer. Mais on peut s'en convaincre en laissant séjourner pendant quelque temps, quelques décoctions de plantes, à l'air libre. En examinant ensuite ces liquides avec un microscope, on y reconnaîtra des animaux excessivement petits qui se meuvent avec beaucoup de vitesse. Suivant les calculs de Lewenhoëch, il faudrait au moins *cinquante trillions de certains de ces animaux pour remplir un espace d'un centimètre cube;* de sorte qu'il pourrait en tenir plusieurs milliers sur la pointe d'une aiguille. Qu'on juge, d'après cela, de l'extrême ténuité de leurs organes!

CHAPITRE V.

De la ductilité.

(152) La ductilité est la propriété que possèdent certains corps solides de pouvoir être étendus par un moyen quelconque, et de conserver alors sensiblement la forme qu'ils ont reçue.

Dans tous les cas où la ductilité se manifeste, les molécules des corps, sans cesser un instant d'adhérer entr'elles, se déplacent en glissant les unes sur les autres, et s'arrangent d'une manière permanente dans de nouvelles positions respectives. Dans certains cas, ce déplacement se fait avec la plus grande facilité; dans d'autres, il se fait avec plus ou moins de difficulté.

(153) *Corps éminemment ductiles.*—Un grand nombre de corps sont assez ductiles pour pouvoir être pétris, étirés, modelés entre les doigts de différentes manières. Tels sont les argiles humectées d'eau, le mastic des vitriers, les graisses de diverses espèces. Cette sorte de ductilité est souvent désignée par le nom de *mollesse;* mais cette expression est souvent employée aussi pour désigner des propriétés très-différentes des corps, comme la facilité à se laisser plier, à se laisser comprimer ou à se laisser entamer, que nous traiterons sous les titres *flexibilité*, *compressibilité*, *dureté*.

(154) *Corps plus difficilement ductiles.*—D'autres corps ne manifestent leur ductilité, que lorsqu'on les soumet à une force de pression plus considérable; tels sont le plomb, l'étain, les divers métaux dont on se sert habituellement, qu'on ne saurait aplatir par une faible pression; mais qu'on étend facilement sous le marteau (*d'où est venu l'ex-*

pression, *malléabilité*), ou par l'action du laminoir, et qu'on peut étirer en fils plus ou moins déliés au moyen de la filière.

C'est aussi en vertu de leur ductilité, que les métaux réduits en fils d'un certain diamètre, peuvent être allongés d'une certaine quantité, lorsqu'on tire leurs extrémités en sens opposés; mais cet allongement n'est jamais très-considérable, parce que bientôt ils se rompent sous l'effort.

(155) *Le degré de ductilité que présente un corps, dépend du degré de température auquel se fait l'expérience.*—Les graisses qui sont très-ductiles à la température ordinaire, deviennent *cassantes* lorsqu'elles sont exposées à un grand degré de froid. Le verre qui n'est nullement ductile à la température ordinaire, acquiert cette propriété d'une manière très-remarquable lorsqu'il est chauffé au rouge; on peut alors le pétrir et le contourner de toutes les manières. La poix est très-cassante en hiver et très-ductile en été. Les corps résineux acquièrent aussi de la mollesse à une température qui varie de 30d à 50d, selon leur nature; la cire à cacheter, dont la base est la *résine laque*, en est un exemple que nous avons fréquemment sous nos yeux.

(156) *La ductilité des métaux varie aussi beaucoup avec la température.*—Le fer se forge avec beaucoup plus de facilité lorsqu'il est chauffé au rouge qu'à froid. Le zinc, qui est peu malléable à la température ordinaire, peut être forgé, laminé, étiré en fil avec la plus grande facilité, lorsqu'il est à la température de l'eau bouillante; et ce qui est remarquable, c'est qu'après avoir été travaillé à cette température, il conserve beaucoup de ductilité à la température moyenne. On n'a pas essayé s'il existait, pour les autres métaux, un degré de température qui fût avantageux aux diverses opérations de martelage, laminage, etc. Il paraît que le cuivre à la chaleur rouge se forge moins facilement qu'à froid. Le plomb, l'étain portés à une température très-voisine de leur point de fusion, se brisent

sous le marteau, tandis qu'ils se forgent facilement à froid.

(157) *Ecrouissement des métaux.*— Il y a plusieurs métaux qui, forgés à froid pendant quelque temps, ou étirés par différens trous successifs de la filière, deviennent rigides et cassans : on dit alors qu'ils sont *écrouis*, et on est obligé, pour pouvoir continuer sur eux l'opération, de les *recuire*, c'est-à-dire, de les faire rougir à un certain point.

L'*écrouissement* a lieu, parce que pendant les diverses opérations, les molécules du métal se rapprochent les unes des autres ; ce qui est prouvé par l'augmentation de densité (174) : mais, en outre, les molécules se disposent en fibres allongées, un peu inclinées entr'elles et entremêlées ; ce qu'on reconnaît très-bien dans la cassure. Il paraît que ces fibres deviennent tellement distinctes, qu'elles perdent un peu de leurs adhérences mutuelles, et que c'est alors que le métal se gerce ou se rompt sous l'effort qu'on fait sur lui.

Recuit.—L'action d'une chaleur rouge brise les fibres, et il se rétablit en quelque sorte, dans l'intérieur de la masse, une cristallisation qui réagrège les particules. Lorsqu'on fait chauffer fortement au rouge un fil de fer *écroui*, et qu'on le casse ensuite, on le trouve composé de petites lames entremêlées.

Le plomb, l'étain, l'or pur ne s'écrouissent pas sensiblement pendant les opérations de martelage, etc. Le zinc, tenu à la température de l'eau bouillante, ne s'écrouit pas non plus. Il paraît qu'à la température où on travaille ces métaux, leurs molécules ont, à un très-haut degré, la facilité de glisser les unes sur les autres. Il pourrait exister aussi un degré de chaleur où les autres métaux se trouveraient dans le même cas.

(158) *Différens degrés de ductilité des métaux.*— Quoique tous les métaux dont nous nous servons habituellement soient ductiles, ils ne possèdent pas tous cette propriété au même degré. On pourrait, relativement à leurs divers degrés de ductilité à la température ordinaire, les

ranger dans l'ordre suivant, qui est à-peu-près celui qu'on reconnaît en essayant ces corps sous le marteau :

Plomb.
Etain.
Or.
Zinc.
Argent.
Cuivre.
Platine.
Fer.

La facilité à être étiré en fils très-fins dépend de la ductilité et de la ténacité. Il paraîtrait que le platine tiendrait, à cet égard, le premier rang, et qu'on pourrait établir l'ordre suivant :

Platine.
Argent.
Fer.
Cuivre.
Or.
Zinc.
Etain.
Plomb.

La facilité à être réduits en feuilles très-minces, dépend de la ductilité et de la densité. L'or n'est pas plus facile à aplatir que le plomb ; mais l'or étant très-dense peut être réduit en feuilles excessivement minces, qui conservent une continuité parfaite.

Relativement à cette propriété, les métaux paraissent se ranger dans l'ordre suivant :

Or.
Argent.
Cuivre.
Etain.
Plomb.
Zinc.
Platine.
Fer.

L'or et l'argent, préparés au laminoir et battus ensuite dans un livret de baudruche, peuvent être réduits en feuilles si minces, qu'il en faut plus de mille pour faire l'épaisseur d'une feuille de papier ordinaire. Ce sont ces feuilles minces qu'on emploie pour la dorure et l'argenture sur bois, sur métaux vernis, sur papier, etc. La dorure et l'argenture sur métaux se font plus ou moins solidement par divers autres procédés.

On prépare aussi des feuilles excessivement minces de cuivre et d'étain pour les dorures et argentures fausses, qu'on employe très-souvent dans une multitude de circonstances où l'on veut porter une économie de dépenses.

(159) *Inconvéniens de la ductilité de quelques métaux.* — La grande ductilité du plomb, de l'étain, empêche d'employer ces métaux dans des ouvrages délicats : le poids seul des ornemens qu'on pourrait en faire suffirait pour les déformer. Les poteries d'étain ne sont jamais d'étain pur, parce qu'elles n'auraient pas assez de consistance ; mais on emploie l'alliage d'étain et de plomb, et quelquefois de bismuth, qui a plus de rigidité. Des lois sévères déterminent la quantité de plomb qu'on peut introduire sans nuire à la santé du consommateur, et, pour éviter les fraudes, toutes les pièces sont poinçonnées par un bureau établi à cet effet.

C'est aussi parce que l'or pur est trop mou, et qu'il serait impossible de faire usage des bijoux qui en seraient fabriqués, que les orfèvres allient toujours ce métal avec une certaine quantité de cuivre fixée par les lois.

CHAPITRE VI.

De l'extensibilité dans les corps non ductiles.

(160) Un certain nombre de corps non ductiles possèdent aussi la propriété d'être étendus par la pression ou par l'action de deux forces qui tirent leurs parties en sens opposés ; mais en même temps il existe en eux une propriété qu'on nomme *élasticité*, en vertu de laquelle les parties reviennent plus ou moins complètement à leur première position, lorsque la force cesse d'agir ; c'est ce qu'on peut voir, par exemple, dans le *caoutchoux* (gomme élastique), qui se laisse un peu aplatir par la pression, qui s'étend considérablement lorsqu'on tire ses parties en sens opposés, et qui revient vers sa première position lorsque la force cesse d'agir.

Les corps dont nous parlons ici ne sont point malléables, parce que l'extension que peut produire en eux chaque coup successif de marteau, ne se conserve que pendant l'instant infiniment court où la pression a lieu.

(161) *Extensibilité par déplacement momentané des particules.* — On doit distinguer deux genres d'extensibilité dans les corps élastiques. Dans le premier genre, l'extensibilité a lieu, parce que les molécules des corps sont disposées de manière à pouvoir se déplacer encore en glissant les unes sur les autres ; c'est ce qui paraît avoir lieu dans le caoutchoux préparé pour les instrumens de chirurgie, dans lequel on ne reconnaît point de pores.

Il existe un grand nombre de corps qui possèdent cette sorte d'extensibilité ; mais il en est peu où elle soit très-apparente. Le verre, par exemple, est réellement extensible,

comme le prouve la faculté d'être courbé d'une certaine quantité avant de se rompre ; mais on ne peut apercevoir en lui cette propriété, en tirant ses parties en sens opposés.

(162) *Extension par changement dans la figure des pores.* — Le second genre d'extensibilité provient de la porosité des corps. Par l'action d'une force comprimante, les pores s'aplatissent, et l'extension plus ou moins grande en est le résultat. Lorsqu'on tire les extrémités d'un tel corps en sens opposés, les pores s'allongent en diminuant transversalement de diamètre.

Le caoutchoux frais (*), c'est-à-dire, qui n'est pas passé à cet état de dessication et de compacité où nous le voyons ordinairement en France, est extrêmement poreux : dans ce cas, il est beaucoup plus extensible ; mais il se déchire plus facilement.

Les peaux des animaux, soit fraîches, soit préparées, sont extrêmement poreuses ; leur tissu présente une sorte de réseau dont les mailles peuvent être allongées dans un sens ou dans l'autre, jusqu'à ce que les filets soient devenus parallèles. Les étoffes de différens genres, les cordes, etc., sont extensibles par la même raison.

Si le liége, la moëlle de sureau, etc., qui sont des corps très-poreux, ne présentent pas une extensibilité bien remarquable lorsqu'on tire leurs parties en sens opposés, c'est parce que les cellules qui les composent ont très-peu d'adhérence entr'elles, et que, par cela même, ces corps se rompent très-facilement sous l'effort qu'on fait sur eux.

(*) Le caoutchoux paraît être le suc épaissi de diverses plantes de la famille des euphorbes. On le trouve le plus souvent en France sous la forme de petites bouteilles noirâtres à parois minces. J'en ai vu en Angleterre des masses très-volumineuses dont la surface était jaune sale, mais dont l'intérieur était très-blanc et criblé d'une multitude de pores arrondis, remplis d'une liqueur fétide.

CHAPITRE VII.

De la flexibilité.

(163) Nous nommons *flexibilité* la propriété que possèdent certains corps, de se laisser courber jusqu'à un certain point avant de se rompre.

Lorsqu'on courbe, par exemple, une tringle de fer ou d'étain, on voit très-clairement que les molécules, situées à la partie convexe de la courbure, glissent les unes sur les autres, et que la tringle s'allonge et se rétrécit dans cette partie; en même temps on remarque que les molécules, situées à la partie concave, se refoulent les unes sur les autres, et que la tringle y augmente d'épaisseur. Nous croyons probable qu'il existe un semblable déplacement de particules dans tous les corps non poreux qui se laissent courber plus ou moins; quant aux corps poreux, il est clair que ce sont les pores qui changent de figure.

(164) Les corps ductiles se laissent courber très-facilement, et conservent sensiblement la forme qu'ils ont reçue; on peut leur faire prendre un angle de courbure extrêmement aigu, à moins que leur grosseur ne soit trop considérable. On peut dire que dans les métaux, en général, l'ordre de flexibilité est absolument le même que celui de ductilité.

Il y a des substances minérales qui, quoique non ductiles, sont aussi susceptibles de se courber sous des angles très-aigus, et de conserver la forme qu'elles ont reçue; tels sont le talc, le molybdène, plusieurs variétés de minerais d'argent, d'antimoine, etc.; enfin, pour citer une substance dont le nom est généralement connu, telle est l'amiante,

dont les fibres excessivement déliées, se plient aussi facilement que l'étoupe de soie.

(165) C'est parmi les débris des corps organisés, et dans les tissus divers qui en sont composés, qu'on trouve les corps les plus éminemment flexibles. On connaît la grande flexibilité de la soie, celle des poils de différens animaux, celle des peaux passées par divers apprêts; on connaît également la grande flexibilité du lin, du chanvre, du coton, et celle des étoffes qui en sont composées.

(166) Il y a des corps qui sont en même temps très-flexibles et très-élastiques, c'est-à-dire, qui reviennent subitement à leur forme primitive lorsque la force cesse d'agir : tel est, par exemple, le caoutchoux. Mais la plupart des corps élastiques ne peuvent se courber que sous des angles très-obtus; et il faut souvent, pour apprécier la courbure, que les corps aient une longueur considérable, comparativement à leur diamètre transversal. Par exemple, on ne voit aucune marque de flexibilité dans une baguette de verre de 2 à 3 centimètres de longueur, sur 2 à 3 millimètres de diamètre; mais si on prend une baguette de 4 à 5 décimètres, on apercevra la courbure d'une manière très-sensible. Le verre, réduit en filets minces, présente une certaine flexibilité; comme on peut le voir dans ces jolies aigrettes que les dames ont porté, il y a quelques années, sous le nom d'*esprit*, et dont les différens brins, situés obliquement, se courbaient elégamment sous leur propre poids.

Nous avons cru remarquer que le soufre est un des corps les moins flexibles; en effet, on ne peut guère fléchir même les filets les plus déliés. Viennent ensuite les résines, diverses gommes, le verre, etc.

(167) *Influence de l'arrangement des particules d'un corps sur sa flexibilité.*—La manière dont les particules des corps sont arrangées entr'elles, fait varier considérablement le degré de flexibilité. En général, une substance non ductile paraît avoir plus de flexibilité lorsqu'elle est compacte, que lorsqu'elle est composée de lames appliquées

les unes sur les autres, ou de lamelles entremêlées, fortement unies entr'elles. Les substances fibreuses sont plus flexibles suivant la longueur des fils, que dans le sens transversal.

Les substances feuilletées, dont les lames composantes sont très-minces et conservent peu d'adhérence entr'elles, possèdent beaucoup de flexibilité; c'est ce qu'on remarque, par exemple, dans le *mica laminaire* ou *verre de Moscovie*, qu'on emploie souvent dans les vaisseaux, au lieu de vitre ordinaire.

Quelques corps grenus, ou composés de petites lames entrelacées qui ont peu d'adhérence entr'elles, possèdent aussi un certain degré de flexibilité assez remarquable; c'est ce qu'on voit dans quelques variétés de grès ou de marbre. On peut même déterminer cette propriété dans les substances grenues ou lamellaires qui ne la possèdent pas, en les chauffant pendant quelque temps dans du sable; il paraît que, dans cette opération, la chaleur fait rompre en partie l'adhérence que les grains ou lamelles avaient naturellement entr'eux.

(168) *Influence de la grosseur du corps sur la flexibilité.* — L'angle de courbure, qu'on peut faire prendre à un corps, dépend singulièrement de sa grosseur. Par exemple, un fil de fer fin peut être contourné de toutes les manières possibles, et tellement courbé, que ses deux parties deviennent parallèles et se touchent, *fig.* 48; mais il n'en est pas de même d'une barre de fer, à laquelle on ne saurait faire prendre la forme *fig.* 48, sans qu'elle se cassât à l'endroit de la courbure, comme on le voit *fig.* 49.

Il est facile d'expliquer cet effet; car le point *a*, situé à la partie concave, *fig.* 50, peut être considéré comme un centre autour duquel tournent toutes les molécules situées de *a* en *b*. D'après cela, à mesure que la barre se courbe, les molécules, situées en *b*, à l'extrémité du rayon *ab*, subissent de grands efforts; elles glissent les unes sur les autres, si le corps est ductile; mais s'il l'est très-peu ou même point, après avoir glissé d'une certaine quantité, elles se séparent.

On voit dès lors comment la rupture peut avoir lieu; on voit en même temps que les molécules, situées entre *a* et *b*, en *c*, par exemple, ne peuvent pas subir un effort aussi considérable pendant l'opération de courbure, que celles qui sont situées à l'extrémité d'un plus grand rayon, comme en *b*; ce qui montre pourquoi un fil mince se courbe plus fortement avant de rompre, qu'une barre plus épaisse.

Si, avant de courber la barre métallique, *fig.* 51, on fait en *a* une entaille, on la ploiera par la face *a* avec plus de facilité, et on risquera moins de la rompre, parce que le centre de mouvement étant plus rapproché de la surface opposée, les molécules situées en *b* se trouvent à l'extrémité d'un rayon plus petit, et, par conséquent, subissent un effort moins considérable. On voit par là, combien est avantageuse la pratique des ouvriers, d'entailler les tringles métalliques qu'ils veulent courber, sur la face par laquelle ils doivent les courber.

Si, au lieu de courber la barre métallique, entaillée en *a*, par la face *a*, on la courbe par la face *b*, l'entaille facilitera, au contraire, la désunion des molécules.

On remarque aussi l'influence de l'épaisseur dans les substances les plus flexibles. Par exemple, on sait qu'une feuille de papier peut être pliée sous un angle très-aigu sans en être endommagée, tandis qu'on ne saurait plier de même une feuille de carton sans la rompre. Dans ce corps, qui est extrêmement poreux, les mailles s'allongent à la partie convexe de la courbure, jusqu'à ce que les fibres qui les forment soient parallèles et se touchent; à ce point, si l'effort est continué, les fibres se déchirent. On peut remarquer aussi que les étoffes épaisses et serrées, comme le sont quelques anciennes étoffes de soie, se rompent, ou, comme on dit, *se coupent* facilement aux endroits où elles sont pliées.

Un fil de lin ou de chanvre peut être contourné de toutes les manières sans perdre de sa solidité; mais il n'en est pas de même à l'égard d'un cable, qu'on met souvent hors de

service lorsqu'on le courbe sous un angle trop aigu, et d'autant plus facilement, qu'il est tordu plus serré; les cordes goudronnées résistent moins même que les cordes blanches. On avait proposé, depuis long-temps, de faire des cordages plats, ou espèce de tresses, qui n'auraient point le défaut de se rompre si facilement, et qui résisteraient aussi fortement à la charge, en leur donnant une largeur convenable.

CHAPITRE VIII.

De la compressibilité.

(169) On nomme *compressibilité* la propriété qu'ont certains corps de pouvoir diminuer de volume par l'action d'une cause extérieure, comme la pression, la percussion. On nomme plus particulièrement *condensation*, la faculté que possèdent les corps de pouvoir diminuer de volume, en passant d'une certaine température à une autre plus basse. Dans les deux cas, il faut concevoir que les molécules se rapprochent les unes des autres.

(170) *Evidence de la compressibillité dans certaines substances poreuses.*— Dans les substances dont la porosité se manifeste immédiatement d'une manière sensible, comme dans le bois, le liége, la peau des animaux, etc., la compressibilité est extrêmement sensible; ainsi, en pressant entre les doigts un morceau de liége, un morceau de moëlle de sureau, on suit, pour ainsi dire, de l'œil le rapprochement des particules; en serrant un morceau de bois entre les dents, on y imprime des marques qui l'indiquent également. Dans ces différens corps, les pores s'aplatissent et leur parois se rapprochent.

(171) *Corps poreux non compressibles.*— Il y a des corps extrêmement poreux dans lesquels la compressibilité ne se manifeste pas; comme, par exemple, la *pierre-ponce*, parce que ces corps étant très-peu flexibles, les parois de leurs pores ne peuvent se déformer sans se briser.

(172) *Comment on peut constater la compressibilité des corps ductiles.* — On sait qu'en appuyant fortement avec l'ongle, avec une lame d'acier, sur une substance ductile, comme la cire, le plomb et les divers métaux, on

produit à la surface des enfoncemens plus ou moins considérables; mais il ne serait pas exact d'en conclure, comme on le fait souvent, que ces corps sont compressibles; car, en vertu de la ductilité, les particules peuvent seulement avoir été déplacées en glissant les unes sur les autres, sans avoir subi aucun rapprochement entr'elles.

Pour éprouver si les corps ductiles sont compressibles, il faut les enfermer exactement de toutes parts, de manière qu'il n'y ait de libre que le point par lequel on exerce la pression.

(173) *Les corps solides non poreux sont très-peu compressibles.* — En faisant l'expérience de la manière (*) que nous venons d'indiquer, nous avons reconnu que les corps solides ductiles, qui ne présentent pas de pores apparens, sont très-difficilement compressibles, et nous sommes étonnés que, dans les ouvrages de physique, on dise que la *compression est évidente dans tous les corps solides;* nous pouvons dire, au contraire, qu'il n'y a que les corps éminemment poreux et flexibles qui soient compressibles; que dans tous les autres, la résistance à la compression est énorme, et que, s'il y a une compression réelle, c'est d'une quantité tout-à-fait inappréciable.

(174) *Dans quel cas les métaux sont compressibles.* — Les métaux, simplement fondus, sont souvent extrêmement poreux, tant par de petites boursouflures, que par suite de la cristallisation qui a lieu dans la masse; c'est alors que ces corps cèdent, d'une manière plus ou moins sensible, à l'action d'une force comprimante. Au contraire, les corps ductiles qui, en passant de l'état liquide à l'état solide, se prennent en masses homogènes, comme les graisses, le plomb, etc., n'y cèdent pas d'une manière sensible. Le

(*) Il est fort difficile de faire ces expériences; car la moindre fissure suffit pour que le corps s'échappe en lame mince ou en filamens déliés.

plomb forgé ou laminé n'a pas ordinairement plus de densité que le plomb fondu ; mais tous les autres métaux, après avoir été forgés ou laminés, étirés en fils, sont plus denses qu'avant cette opération (*); ceux qui présentent le plus de différence à cet égard, sont le fer et le cuivre ; aussi, sont-ce ceux qui, après avoir été simplement coulés en masses, présentent le plus de vides intérieurs. (*Voyez* la table des pesanteurs spécifiques, pag. 47.)

Les métaux qui dans leur cassure présentent de petites lames entremêlées, acquièrent de la densité par le martelage ; il est évident, en effet, que ces petites lames doivent produire beaucoup de petits espaces vides dans l'intérieur des corps.

(175) *Cas où les métaux perdent de leur densité par le martelage.* — Quelquefois aussi les métaux perdent de leur densité, lorsqu'ils ont été long-temps forgés, parce qu'alors il se forme des fibres qui deviennent, en quelque sorte, isolées les unes des autres ; aussi, lit-on, dans quelques auteurs anciens, que les métaux perdent sensiblement de leur densité lorsqu'ils sont forgés.

(176) *Corps incompressibles.* — Il y a une multitude de corps qui ne donnent jamais aucune marque sensible de compression ; tels sont, par exemple, le marbre, le verre, etc. qui se brisent sous un choc un peu violent. On a cependant coutume de dire que ces corps sont compressibles, et on en donne la preuve suivante.

Expérience par laquelle on croit prouver leur compressibilité. — Si on prend une plaque de marbre, et qu'après l'avoir enduite d'une légère couche de graisse, ou avoir seu-

(*) Dans plusieurs expériences où nous avons fortement battu l'étain, nous n'avons pas trouvé de différence dans sa pesanteur spécifique. Cependant Brisson en a trouvé une très-petite que nous avons indiquée, d'après lui, dans le tableau des pesanteurs spécifiques.

lement soufflé l'haleine à sa surface, on laisse tomber dessus une bille de même matière, on verra, à l'endroit du choc, une tache circulaire d'un diamètre très-apparent, et d'autant plus grand, que la bille sera tombée de plus haut : or, une sphère ne peut toucher un plan que par un point; donc, puisque la tache a un certain diamètre, il faut admettre que le marbre a été comprimé : il est revenu aussitôt à son premier volume, en vertu de son élasticité.

On fait des expériences semblables sur le verre et sur tous les autres corps très-résistans, et on obtient les mêmes résultats, à quelques différences près dans le diamètre de la tache circulaire, suivant la nature du corps qu'on examine.

Doutes sur l'exactitude de la conséquence qu'on en tire.—Mais la conséquence que l'on tire de ces expériences, savoir : *que les corps qui y ont été soumis sont compressibles*, est-elle bien exacte ? C'est ce que nous ne savons pas. Ce qu'il y a de certain, c'est qu'on peut expliquer cet effet par un déplacement momentané des particules, tant du corps choquant, que du corps choqué. Les parties déplacées reprennent ensuite instantanément leurs positions respectives naturelles, en vertu de l'élasticité.

On pourrait aussi croire que la faculté que possède une lame de verre, une lame d'acier, etc., de se laisser courber jusqu'à un certain point, est, en même temps, une preuve de la compressibilité et de la dilatabilité de ces corps. On concevrait, en effet, assez facilement qu'il y a compression à la partie concave de la courbure, et dilatation à la partie convexe : mais on peut aussi faire une autre hypothèse, et concevoir cet effet par un simple déplacement des particules ; c'est ce qui nous paraît plus probable.

CHAPITRE IX.

De l'élasticité.

(177) On nomme *élasticité* la propriété que possèdent certains corps, de se conserver d'une manière permanente à un volume ou à une forme déterminés, et d'y revenir lorsqu'ils en ont changé par une cause quelconque.

(178) *Hypothèse sur la cause de l'élasticité dans les corps poreux.* — Un grand nombre de corps solides poreux, susceptibles d'être comprimés, possèdent la propriété de revenir à leur premier volume, lorsque la force comprimante cesse d'agir; c'est ce qu'on voit dans le liége, la moëlle de sureau, le caoutchoux, le bois, etc. Il paraît que ce retour au volume naturel s'effectue en vertu de la tendance que possèdent les parois de chaque petite cellule, de se conserver, d'une manière permanente, à une forme déterminée, et d'y revenir, aussitôt que la force qui les avait déformées a cessé son action. C'est ainsi qu'une masse de crin, qui est susceptible d'être comprimée d'une manière remarquable, reprend son volume primitif, parce que chacun des crins qui la composent tend à reprendre sa forme naturelle que la compression avait changée. On peut faire un raisonnement semblable pour tous les corps compressibles élastiques.

(179) *Même hypothèse appliquée à l'élasticité des corps non poreux.* — Pour expliquer l'élasticité qui se manifeste dans une lame d'acier, une lame de verre, etc., qu'on a courbée, et qui revient à sa première forme lorsqu'on l'abandonne à elle-même, on *suppose* que, pendant que la lame est courbée, les particules de la partie convexe de la courbure sont écartées les unes des autres, et que celles de la partie concave sont rapprochées; les unes

et les autres tendent à reprendre leurs distances mutuelles naturelles, et les deux effets qui en résultent, concourant au même but, sollicitent le corps à reprendre sa première forme.

(180) *Cas où cette hypothèse est en défaut. Nouvelle hypothèse.* — Cette hypothèse explique assez bien l'élasticité d'une lame de matière non ductile, et elle nous paraît très-fondée, relativement aux corps poreux, comme le bois, le liége, etc.; mais l'expérience suivante ne peut être expliquée de la même manière.

Lorsqu'on prend une lame mince de plomb, et qu'on cherche à la courber en employant une très-légère pression, on la sent résister avec une certaine force, et on la voit revenir vers sa première forme en oscillant avec vitesse: si on emploie une force plus grande, on la courbe réellement, mais elle ne conserve pas toute la courbure qu'on lui avait d'abord procurée. Or, le plomb n'est pas comprimé par le martelage; comment donc supposer qu'en vertu de la petite force qu'on a employée, les molécules de l'arc concave se soient rapprochées, et que celles de l'arc convexe se soient écartées les unes des autres? Il nous semble que, pendant l'opération de courbure, les particules du plomb se déplacent pour glisser les unes sur les autres; mais lorsque la force employée n'est pas assez considérable, elles ne font que perdre quelques-uns des points d'adhérence qu'elles avaient, et n'en acquièrent pas assez de nouveaux pour se maintenir fixement dans leurs nouvelles positions; de sorte qu'alors elles reviennent à leurs anciennes, et que, par conséquent, la lame métallique reprend sa forme.

Quelle que soit la force qu'on emploie, il y a toujours quelques molécules, éloignées de la plus grande courbure, qui ne sont que légèrement déplacées, et qui retournent à leur première position lorsque la force cesse d'agir.

Ce raisonnement s'applique à tous les corps ductiles, parce qu'il n'en est aucun qui ne présente quelques signes d'élasticité.

Dans les métaux qui sont moins ductiles que le plomb, l'effort nécessaire pour faire glisser les particules les unes sur les autres, et les transporter, d'une manière permanente, dans de nouvelles positions, est beaucoup plus considérable; par conséquent, on peut agir sur ces corps avec une grande force, sans pourtant déplacer assez les particules pour qu'elles restent dans leurs nouvelles positions; dès lors elles acquièrent une grande tendance à revenir vers leurs positions primitives.

Les métaux écrouis, ayant perdu de leur ductilité par l'écrouissage, manifestent encore plus d'élasticité.

Cette hypothèse nous conduit jusqu'à l'acier recuit, de là à l'acier trempé, puis au verre, etc.; de sorte que nous sommes portés à la substituer entièrement à celle qui est admise dans les ouvrages de physique, parce que nous ne saurions à quel point nous arrêter; à moins de prouver, par des expériences décisives, que tels corps subissent réellement alors une compression, et que tels autres n'en subissent point; ce que nous n'avons pu faire, quoique cela serait très-important pour la théorie.

En résumé, nous croyons donc, 1.° que dans les corps ductiles, l'élasticité est une conséquence d'un léger déplacement de particules, sans compression; 2.° que dans les corps non ductiles la même chose a lieu; que cependant il pourrait bien se faire qu'il y eût réellement compression à la partie concave et dilatation à la partie convexe, mais qu'il faudrait le prouver par expérience.

(181) *Elasticité qui se manifeste par le choc des corps.* — Nous ferons absolument les mêmes raisonnemens pour l'élasticité qui se manifeste par le choc de deux corps. Lorsqu'on laisse tomber une boule de matière élastique sur un plan de marbre, cette boule rebondit, dit-on, parce que les parties comprimées par le choc se rétablissent avec une force qui communique au corps mobile une impulsion en arrière. Ce raisonnement s'applique sans difficulté à une balle de liége, de crin, ou de tout autre corps poreux com-

pressible, qui ont changé de volume à l'instant du choc, parce que les parties qui les composent ont changé de forme (178). Mais si on prend une petite boule de cire, ou un petit grain du plomb de chasse qu'on nomme *cendrée*, on les voit rebondir à une petite hauteur, lorsqu'on les laisse tomber sur un plan de marbre; or, on ne peut pas admettre que dans ces corps il y ait eu compression : nous croyons donc encore que l'effet du choc a été de solliciter les particules à glisser les unes sur les autres; mais que l'effort n'ayant pas été assez considérable pour leur donner un nombre suffisant de nouveaux points d'adhérence, elles n'ont pu rester à la position qu'elles avaient prise.

Une balle de plomb un peu lourde ne rebondit pas, parce que le choc de cette masse est assez fort pour produire un déplacement réel; cependant il y a toujours un certain nombre de particules qui ne prennent qu'un mouvement vibratoire qui produit une certaine élasticité; mais le corps ne rebondit pas d'une manière sensible, parce qu'il est trop lourd.

Une bille de cuivre ou de fer rebondit fortement lorsqu'on la laisse tomber sur le plan de marbre, et cela doit être, parce que ces corps étant beaucoup moins ductiles, les particules ne sont point assez déplacées par le choc pour se conserver dans leur nouvel arrangement; mais ayant été cependant très-éloignées de leurs premières positions, elles agissent avec beaucoup de force pour y revenir.

On peut expliquer de la même manière, et sans supposer qu'il y ait eu compression, le haut degré d'élasticité que manifeste une bille d'acier trempé, une bille de marbre, de porcelaine, d'agathe, etc.; mais nous ne pouvons pas assurer que la compression n'ait pas lieu, de même qu'on ne peut assurer qu'elle existe.

(182) *Raisonnement inexact auquel conduit l'hypothèse de la compression.* — Il résulte de tout ce que nous

avons dit, que l'élasticité n'annonce pas toujours, d'une manière évidente, une compression effectuée, et, par conséquent, que le raisonnement suivant, qu'on fait très-souvent, *tel corps est élastique, donc il est compressible*, est absolument inexact; puisqu'il faudrait commencer par prouver que le corps qui manifeste l'élasticité, a été réellement comprimé. Nous donnerons une nouvelle preuve de l'inexactitude de ce raisonnement, en parlant de l'élasticité des corps liquides. (Liv. 3, chap. 5.)

(183) *Influence de la forme du corps sur l'élasticité.* —La forme du corps influe beaucoup, dans certaines circonstances, sur le degré d'élasticité; par exemple, un anneau, d'une substance quelconque, qu'on jette de champ sur un plan de marbre, rebondit plus fortement qu'un disque du même poids; une sphère creuse rebondit plus fortement qu'une sphère pleine.

Le choc détermine l'anneau, *fig.* 52, à s'allonger dans le sens horizontal, de sorte qu'il se fait, dans tous les points de cet anneau, de petits déplacemens de particules, et le retour de toutes ces particules à leurs premières positions, ramène, avec force, le corps à sa première forme. De même, la sphère, à l'instant du choc, devient ellipsoïde, et se trouve ramenée avec force à sa forme naturelle, en vertu de toutes les petites oscillations qui se manifestent dans tous ses points.

Dans un disque du même poids que l'anneau, il n'y a déplacement des particules qu'autour du point choqué : il en faut dire autant de la sphère pleine.

(184) *Oscillations qui se manifestent pendant le retour du corps à sa forme naturelle.* — Dans les corps élastiques, le retour des parties déplacées à leurs positions naturelles, ne se fait pas brusquement; mais bien par une suite d'oscillations au moyen desquelles elles sont transportées successivement en deçà et au delà de leurs positions naturelles; les vitesses de ces oscillations vont toujours en décroissant jusqu'à zéro où l'ordre est rétabli. C'est ce qu'on

peut voir facilement dans les branches d'une pincette qu'on a rapprochées l'une de l'autre, et qu'on a ensuite laissé agir librement.

Un anneau qui a été déformé par le choc, s'allonge dans le sens horizontal, puis dans le sens vertical; puis il s'allonge de nouveau dans le premier sens, et ainsi de suite. C'est ce qu'on voit évidemment dans un anneau d'acier d'un grand diamètre, qu'on tient fixement par un point, pendant qu'on appuie sur lui plus ou moins fort par le point opposé. Une cloche de verre sur laquelle on frappe, produit le même effet. Il existe probablement aussi des oscillations semblables dans une bille creuse qui a été déformée par le choc, et peut-être aussi dans une bille pleine.

(185) *Différens degrés d'élasticité dans les corps.*— Tous les corps sont élastiques; mais tous ne le sont pas au même degré. On nomme *corps parfaitement élastiques*, ceux qui, après avoir été déformés, reviennent parfaitement à leur forme naturelle; mais il faut encore prendre le temps de ce retour en considération. Il y a des substances dans lesquelles ces changemens se font dans un temps inappréciable; telles sont l'acier trempé, le cuivre, l'ivoire, etc.; nous désignerons dans la suite l'élasticité que possèdent ces corps, par le nom d'*élasticité de la première espèce.*

Dans d'autres corps, les changemens ne se font que dans un temps plus ou moins long; c'est ce qui a lieu, par exemple, dans le caoutchouc; on peut aussi ranger dans cette classe, tous les ressorts dont nous nous servons, qui emploient tous un temps appréciable pour se déformer et retourner à leur forme naturelle. Nous désignerons l'élasticité de ces corps par le nom d'*élasticité de la seconde espèce.*

(186) *Variations de l'élasticité avec la température.* —Le degré d'élasticité que manifestent certains corps solides, dépend beaucoup du degré de température auquel se fait l'expérience; par exemple, les métaux chauffés au

rouge ne manifestent pas d'élasticité; et la cire, les graisses, etc., qui, à la température ordinaire, ne montrent point d'élasticité sensible, parce qu'ils sont très-ductiles, acquièrent cette propriété à quelques degrés au-dessous de zéro.

(187) *Les corps flexibles sont élastiques quand ils sont tendus.* — Les corps éminemment flexibles, comme les cordes, les peaux, etc., acquièrent de l'élasticité, lorsqu'ils sont tendus; c'est ce qui a lieu dans les cordes des instrumens de musique, dans la peau d'un tambour, etc.; mais tout le monde sait que l'humidité diminue beaucoup l'élasticité qu'ils ont acquise.

(188) *Des ressorts employés dans les usages de la vie.* — C'est de l'élasticité que les ressorts de diverses espèces empruntent leur force; on sait que les ressorts sont employés dans les arts, sous un grand nombre de figures diverses et à une multitude d'usages différens: ce sont quelquefois des cordes ou des bandes de cuir fixées solidement à leurs extrémités et tendues. Ailleurs ce sont des lames métalliques de fer, d'acier ou de cuivre, droites ou contournées de différentes manières, ou des fils métalliques tournés en spirales. L'ivoire, le bois sont aussi quelquefois employés, et le verre dans quelques circonstances pourrait l'être également.

Les coussins, dont nous nous servons habituellement, doivent aussi leur précieux ressort à l'élasticité du crin, de la plume, etc., qu'on emploie pour les emplir.

(188 bis) *Altération des ressorts.* — L'expérience a appris que les ressorts de différens genres perdent leur élasticité par un long exercice; c'est parce qu'à force de servir, ou lorsqu'ils sont trop long-temps tendus, ils perdent petit à petit leur forme et en prennent une qui se rapproche de celles qu'ils ont dans l'état de tension. Les ressorts d'acier trempé ont moins cet inconvénient que les ressorts de fer et de cuivre, et il est probable que les ressorts de verre seraient dans le même cas.

Altération de l'élasticité des coussins. Moyens d'y remédier. — Si nos coussins, nos matelas perdent leur élasticité par un longue usage, ce n'est pas parce que le crin, la plume, la laine perdent la leur, mais bien parce que ces matières se *feutrent* et se réunissent en masses serrées; aussi leur rend-on facilement l'élasticité, en les cardant, les battant avec des baguettes pour les défeutrer.

CHAPITRE X.

De la dureté.

(189) *Équivoque de cette expression dans le langage ordinaire.*—On désigne souvent par l'expression *dureté*, des propriétés très-différentes des corps ; ainsi, on dit qu'un corps est dur, tantôt parce qu'il résiste avec une certaine force *à l'action d'un choc*, par lequel on tend à le diviser ; tantôt par *opposition à mou* ou *à flexible*, parce qu'il ne cède pas lorsqu'on le presse entre les doigts; tantôt, enfin, parce qu'on ne peut l'entamer avec l'ongle, avec un instrument tranchant. En général, on dit qu'un corps est dur toutes les fois qu'il présente une résistance assez remarquable à un effort quelconque ; mais ces diverses sortes de résistance ne sont point en rapport direct les unes aux autres ; ainsi un corps qui résiste fortement à être entamé par un instrument tranchant, ne résiste pas au choc ; témoin le verre qui ne saurait être entamé avec un couteau et qui se brise avec la plus grande facilité. Il en résulte donc qu'il est nécessaire, en disant qu'un corps est dur, d'énoncer de quelle manière on éprouve sa dureté, sans quoi on pourrait tomber dans des erreurs très-graves, dont nous ne citerons ici qu'un exemple.

Exemple des erreurs qui en résultent. Tout le monde sait, au moins par ouï-dire, que le diamant est un corps très-dur ; mais beaucoup de personnes, satisfaites de cette idée, ne se sont jamais demandé comment on essayait sa dureté ; aussi entend-on quelquefois dire que le diamant est si dur, que si on le plaçait sur une enclume et qu'on frappât dessus avec un marteau, il entrerait plutôt dans l'acier que de se briser ; mais on confond ici la résistance que le corps oppose à être rayé, avec sa résistance

au choc. Le diamant est très-dur, parce qu'il raye tous les autres corps; mais en même temps il est très-fragile.

(190) *Définition de la dureté, en physique.*—On entend en physique par *dureté*, la résistance qu'un corps oppose à être entamé par un instrument tranchant, ou à être usé, rayé par tel ou tel autre corps. On dit qu'un corps est plus ou moins dur qu'un autre, suivant qu'il peut le rayer, l'user, ou qu'il en est rayé ou usé. Par exemple, le verre est plus dur que le marbre, parce qu'il raye ce corps; il est moins dur que le cristal de roche, parce qu'il en est rayé. Le diamant est le corps le plus dur qu'on connaisse; aussi ne peut-on parvenir à le tailler, à le polir, qu'au moyen de sa propre poussière.

Différence entre la faculté d'être rayé et celle d'être usé.—Quoique nous indiquions ici la faculté d'être rayé ou d'être usé pour exprimer la dureté des corps, il ne faut pas croire que les résultats obtenus par ces deux moyens soient exactement comparables; nous n'en citerons qu'un exemple : la pierre ponce est rayée par le verre et ne le raye pas; d'où on conclurait qu'elle est moins dure. Mais la pierre ponce use le verre et n'en est pas usée : d'où il faudrait conclure qu'elle est plus dure que le verre : deux résultats diamétralement opposés.

(191) *La dureté dépend de la cohésion.*—En général, la résistance à être rayée ou à être usée dépend de la cohésion des particules du corps en expérience. Ainsi le marbre blanc est plus dur que la craie, quoique ces deux substances aient absolument la même composition. Le *saphir* (ou *corindon*) qui ne renferme que de l'argile, est infiniment plus dur que les masses de cette terre obtenue par les opérations chimiques; aussi est-il beaucoup plus dense.

Le degré de température auquel se fait l'expérience, influe aussi sur les résultats d'une manière extrêmement sensible.

(192) *Dureté des métaux écrouis ou trempés.*—Plusieurs opérations mécaniques font aussi varier la dureté des

corps ; ainsi les métaux écrouis sont plus durs que les métaux simplement fondus ; aussi sont-ils alors susceptibles de prendre un poli plus vif; c'est ce que savent parfaitement les ouvriers qui écrouissent, autant que possible, les pièces auxquelles ils veulent donner un poli brillant.

La dureté de l'acier trempé est extrêmement remarquable. L'acier n'est guère plus dur que le fer; mais lorsqu'après l'avoir chauffé au rouge (*à divers degrés suivant sa nature*) on le plonge dans l'eau, dans le mercure ou la graisse, etc. (*Il y a même des aciers qui se trempent en refroidissant à l'air*), il acquiert ce grand degré de dureté connu de tout le monde. On a essayé d'expliquer cet effet de différentes manières ; et il n'en est aucune qui soit pleinement satisfaisante (*).

Dans quel cas le bronze est dur ou tendre. — M. Darcet a remarqué que le bronze chauffé au rouge et refroidi à l'air, présente une difficulté extrême à être *buriné* (*taillé au tour*); tandis que cette même substance, chauffée au rouge et plongée à l'instant dans l'eau, se burine ensuite très-facilement. On rend le dur à la pièce fabriquée en la chauffant et la laissant refroidir à l'air. C'est précisément l'inverse de ce qui a lieu ordinairement dans l'acier.

(193) La résistance des corps à être rayés peut présenter

(*) Un auteur de mérite, dans un ouvrage assez récent, a encore employé une explication qui est inconciliable avec les expériences connues depuis long-temps. Il suppose qu'en plongeant l'acier rougi dans l'eau, ce liquide est décomposé, et que l'un des gaz qui le constituent (l'*oxigène*), se porte sur le métal et se combine avec lui. Il se forme ainsi, suivant cet auteur, un nouveau corps qui a sa dureté et ses diverses qualités propres. Cette explication est absolument fausse, puisque l'acier prend une dureté très-considérable lorsqu'on le plonge dans le mercure, après l'avoir chauffé même dans le plomb fondu. Ces corps ne sont point capables de lui fournir l'oxigène.

des différences très-sensibles, suivant la forme de la pointe dont on se sert à cet effet ; si cette pointe est naturelle, comme l'angle d'un cristal, on aura des résultats différens de ceux qu'on pourrait obtenir avec une pointe provenue de cassure ; et parmi ces dernières pointes, *il s'en* trouvera qui entameront avec plus ou moins de facilité le corps proposé.

Nous croyons que, pour établir les degrés comparatifs de dureté entre les diverses substances, l'*usé* serait le moyen le plus avantageux, et l'action de la meule du lapidaire pourrait être employée avec succès. Si on fixait une unité de dureté, la dureté du diamant, par exemple, on pourrait exprimer les degrés comparatifs de dureté des corps par des fractions ; mais cet examen serait extrêmement difficile.

CHAPITRE XI.

De la ténacité.

(194) *Nous comprenons sous le nom de ténacité*, la résistance que les corps opposent à être rompus d'une manière quelconque.

On peut essayer la résistance des corps de quatre manières différentes, savoir :

1.° Par le choc;

2.° Par un effort qui agit perpendiculairement à la plus grande dimension du corps;

3.° Par un effort qui tend à écraser le corps;

4.° Par un effort qui tire les parties du corps en sens opposés.

ARTICLE PREMIER.

Résistance au choc.

(195) L'effort qui est produit par un choc n'agit que pendant un instant extrêmement court; c'est au moment même où il a lieu que la rupture se fait. L'étendue de la cassure dépend de la force du coup et du degré de résistance du corps.

(196) *Hypothèse sur l'effet du choc.* — On peut concevoir qu'à l'instant du choc, les parties qui se trouvent sous le point choqué sont déplacées ou comprimées; dès lors, si le corps est de ceux qui se compriment et se rétablissent dans un temps excessivement court, les parties comprimées exercent une pression considérable sur

celles qui les environnent, et c'est cette pression qui les sollicite à éclater sous le coup.

Conséquence qui en résulte. — D'après cette manière de concevoir l'effet du choc, on voit que les corps qui se cassent le plus facilement sont ceux qui sont les plus élastiques, ou plutôt ceux qui se compriment et se rétablissent le plus subitement; aussi, brise-t-on facilement un morceau de verre, tandis qu'on ne peut produire une rupture sur un métal ductile, sur un morceau de bois, parce que dans ces corps, les parties déplacées conservent les positions qu'elles ont prises en glissant les unes sur les autres, ou bien que le déplacement ne se fait que petit à petit.

On doit tirer aussi comme conséquence de cette manière de concevoir l'effet du choc, que plus le corps, à égalité d'épaisseur, aura d'étendue de part et d'autre du point où il aura été frappé, plus il résistera, parce que la masse que la force élastique doit détacher, se trouvant plus considérable, résiste avec plus d'énergie. Aussi, sait-on qu'en frappant avec une force médiocre vers le milieu d'une des faces d'un bloc de marbre, par exemple, on ne produit aucune rupture, tandis que si l'on frappe avec la même force sur une des arrêtes, on enlève un éclat plus ou moins considérable. Nous supposons ici un marteau à *plane* bombée; mais lorsqu'on frappe avec l'angle d'un marteau à *plane* plane, on produit souvent l'effet du coin.

Les corps peu élastiques, comme la craie, les grès tendres, par exemple, qui, par un choc même assez faible, peuvent être partagés en plusieurs portions, sont plutôt *écrasés* par l'effort que *brisés*. On doit entendre par la valeur de ces deux mots la différence que nous concevons.

L'effet du choc sur une plaque mince, appuyée dans dans tous ses points, est encore de changer la position des molécules situées sous le point choqué; et la rupture a lieu par la réaction des parties déplacées sur celles qui leur sont adjacentes; mais lorsque *la plaque est*

appuyée seulement par ses bords, la rupture n'a pas lieu par la même cause; la plaque se courbe d'abord par l'effet du choc, et si elle parvient au-delà de la flexibilité qu'elle possède, elle se brise. Une chose très-remarquable, c'est qu'il faut que le choc agisse pendant un certain temps, très-court il est vrai, mais tel cependant, que le corps ait celui de fléchir; s'il agit trop instantanément, le corps n'a pas le temps de fléchir sssez pour se briser, et il ne s'y fait souvent qu'un trou.

(197) *Effet d'un coup de pistolet dans une vitre.* — Tout le monde sait qu'en jetant une pierre dans une vitre on la brise en éclats; mais en tirant un coup de pistolet dedans, on n'y fait qu'un trou du diamètre de la balle, surtout si elle est petite, parce que la vitesse du projectile est trop grande, pour laisser à la vitre le temps de fléchir. Il résulte de cette expérience, que si un vaisseau se trouve en mer, à demi-portée de canon d'un fort ou d'un bâtiment ennemi, il a moins à craindre que s'il était à portée entière; car dans le premier cas le boulet arrive sur lui avec beaucoup de vitesse et ne fait qu'un trou qu'il est très-facile de raccommoder; mais dans le second cas, le boulet arrivant avec moins de vitesse, brise la charpente tout au tour du point qu'il choque, et le dommage est plus difficile à réparer.

(198) *La forme du corps choqué influe aussi, dans quelques cas, sur sa résistance.* — Un tube de verre est plus résistant que la lame rectangulaire qu'on pourrait former en le coupant et l'aplatissant. Une sphère creuse de verre manifeste plus de résistance qu'une lame de même surface et de même épaisseur. C'est qu'ici le verre ne peut se briser qu'en fléchissant, et que, sous les formes arrondies, la résistance à la flexion est très-forte. Si le globe de verre était rempli d'eau, l'effet du choc serait le même que sur une plaque mince appuyée dans tous ces points. On sait qu'une bouteille pleine se fèle plus facilement qu'une bouteille vide.

(199) *Influence de l'arrangement des particules des corps.*— La résistance d'un même corps varie aussi considérablement, suivant qu'il est composé de lames appliquées les unes sur les autres, de petites lames entremêlées, ou de fibres droites ou courbes, parallèles, divergentes ou entrelacées; suivant enfin qu'il se présente sous la forme d'une masse compacte qui n'a de joints distincts dans aucun sens.

Un corps composé de lames, a souvent moins de résistance que lorsqu'il est composé de petites lames entremêlées; mais c'est surtout dans les masses composées de fibres entrelacées, que la résistance au choc est extrêmement forte, au point qu'il est souvent impossible de les briser. Dans quelques corps, ces fibres sont d'une ténuité extrême, et si peu apparentes, qu'on nierait leur existence, si l'échantillon même n'en fournissait la preuve, en montrant, çà et là, quelques fibres plus grosses, ou colorées autrement que les autres.

(200) *Influence de la température.* —La température, en augmentant ou en diminuant l'élasticité du corps, diminue ou augmente sa résistance au choc. Tout le monde sait que le verre est très-fragile à la température ordinaire; mais si on vient à le chauffer au rouge, on peut le pétrir et le contourner de toutes les manières possibles, comme nous l'avons déjà dit, n.° 155; la cire à cacheter est un exemple que nous avons journellement sous les yeux. Il y a aussi des corps qui, au contraire, deviennent plus cassans lorsqu'on élève leur température; tels sont, par exemple, la plupart des alliages métalliques, qui, à une température plus ou moins élevée suivant leur nature, se brisent sous le choc du marteau, bien plus facilement qu'à froid.

Nous ne parlons point ici des corps qui sont susceptibles de se décomposer en partie par la chaleur, qui s'exfolient ou se boursouflent, et qui deviennent dès lors plus ou moins friables.

L'humidité produit sur divers corps le même effet que la chaleur sur d'autres : ainsi l'argile humide est ductile, et l'argile sèche est cassante.

(201) *Figure de la cassure.* Les corps, en se brisant sous le choc, présentent diverses circonstances qu'il est bon d'examiner ; s'ils sont composés de petits cubes réunis exactement entr'eux, le choc y détermine des fissures dirigées suivant les faces de ce solide ; si les molécules sont d'une autre forme, les fissures se dirigent de manière à produire ces formes par leurs intersections.

Cassure conoïde. — Les masses compactes homogènes présentent, dans leur cassure, une circonstance qu'il eût été difficile de prévoir. Lorsqu'elles ont une épaisseur et une étendue superficielle assez considérable, le choc détermine dans leur intérieur une cassure conique, et le sommet du cône se trouve au point où on a frappé. On aperçoit facilement cette cassure sur une bille de verre ou d'agathe un peu translucide, qu'on a laissé tomber plusieurs fois de un à deux mètres de hauteur, sur un plan très-résistant ; chaque coup y détermine un petit cône.

On voit également cet effet en frappant avec un marteau sur un de ces corps ; si le choc est assez fort, et qu'on frappe bien au centre de la surface, il se détache des fragmens de tous côtés, et il reste au milieu un mamelon conoïde très-régulier, *fig.* 53. Mais l'angle de ce cône est très-variable ; ce qui détruit en partie l'explication mathématique du phénomène, donnée par M. Girard (*Journal des Mines*, n.° 162), d'après laquelle l'angle devrait être constamment d'à-peu-près 90^{d}. Nous croyons que ce mamelon est plutôt un paraboloïde qu'un cône régulier ; ce qui s'accorderait avec l'effet que produit l'explosion d'une mine.

Toutes les fois qu'on brise une substance vitreuse, on remarque toujours, sur un des fragmens, une cavité à stries concentriques, et la contre-épreuve en relief sur l'autre ; cette cassure a été nommée *cassure conchoïdale*, parce que sur les éclats un peu volumineux, elle présente l'aspect d'une coquille. Cette cassure se présente d'une manière plus ou moins remarquable sur une multitude de substances

minérales : on la trouve également dans les résines ; le *bitume de Judée* ou bitume asphaltique, qui entre dans la composition de quelques vernis, en présente ordinairement une très-belle.

ARTICLE II.

Résistance des corps à un effort qui agit perpendiculairement à leur plus grande dimension.

(202) *Manière de disposer le corps.*—Pour éprouver cette sorte de résistance, il faut disposer le corps horizontalement, et faire agir la force perpendiculairement à sa plus grande longueur. Il y a, en général, trois manières de maintenir constamment le corps dans la position horizontale ; savoir :

1.° En encastrant solidement ce corps par une de ses extrémités, *fig.* 54 ;

2.° En soutenant chaque extrémité du corps sur un point d'appui, *fig.* 55 ;

3.° En encastrant solidement le corps par ses deux extrémités, comme *fig.* 56.

(203) *Maximum d'action de la force.* — Dans le premier cas, une force déterminée produit le maximum d'effet, lorsqu'elle agit à l'extrémité libre. Dans chacun des deux autres cas, la force produit le maximum d'effet, lorsqu'elle agit au milieu de la longueur déterminée par les points d'appui. On voit, d'après cela, que si on veut disposer des masses très-lourdes sur un plancher, il faut les placer le plus près possible des murailles, parce que c'est-là qu'elles ont le moins d'action possible pour rompre les poutres.

(204) *Les corps* mis en expérience *commencent ordinairement par se courber avant de se rompre* sous le poids qu'ils supportent ; ce n'est que quand ils sont parvenus au maximum de courbure qu'ils peuvent prendre, qu'ils cè-

dent tout-à-coup à l'effort et se rompent. Il arrive souvent qu'un poids qui n'est pas capable de faire rompre tout-à-coup un corps, finit par produire cet effet, lorsque l'action de l'effort se continue pendant un certain temps; le corps se courbe petit à petit, arrive au maximum de courbure, et enfin se rompt. Nous ferons la même remarque dans l'article suivant; de sorte qu'il est nécessaire, dans les diverses expériences, de déterminer le temps pendant lequel le corps a supporté telle ou telle charge.

(205) *Influence des dimensions du corps sur la résistance.*—La résistance d'un corps à l'action d'une force qui agit perpendiculairement à sa longueur, dépend à-la-fois de sa longueur, de sa largeur et de son épaisseur. On trouve, par le calcul et on démontre sensiblement par expérience, que les résistances sont en raison inverse des longueurs, c'est-à-dire, qu'elles diminuent comme les longueurs augmentent; en sorte que si une pièce de bois, par exemple, d'une certaine longueur, soutient un poids de 1000 kilog., elle n'en soutiendra plus qu'un de 500, lorsque sa longueur sera doublée.

Relativement à la largeur et à l'épaisseur, il est nécessaire, avant de citer les résultats, de définir ce que l'on doit entendre ici par ces expressions. Nous nommerons largeur, la dimension transversale de la face perpendiculairement à laquelle agit la pression; l'épaisseur sera la dimension transversale de la face parallèle à la direction de l'effort.

Cela posé, les longueurs et les épaisseurs étant fixées, on trouve que les résistances augmentent à-peu-près comme le largeurs; en sorte que si une pièce de bois a soutenu 1000 kilog., elle en soutiendra 2000 lorsque sa largeur sera doublée.

Les largeurs et les longueurs étant fixées, on trouve que les résistances sont comme les carrés des épaisseurs, c'est-à-dire, que si un corps a soutenu 1000 kilog., il en soutiendra 4000 lorsque son épaisseur sera égale à deux fois

la première. D'où l'on voit qu'une planche posée de champ, doit soutenir un effort infiniment plus grand que lorsqu'elle est posée à plat ; aussi emploie-t-on avec avantage pour solives des bois méplats posés de champ.

Tous ces résultats sont exprimés dans la règle suivante. La résistance horizontale d'un corps est en raison directe de sa largeur, en raison directe du carré de son épaisseur et en raison inverse de sa longueur.

(206) *Influence de la manière dont le corps est fixé.* — La manière dont le corps est fixé fait varier considérablement sa résistance ; par exemple, si une pièce de bois encastrée à une extrémité, comme *fig.* 54, est capable de soutenir une charge de 1000 kilog., elle en soutiendra une de 2000 kilog. lorsqu'elle sera appuyée par ses deux extrémités, comme *fig.* 55, et une de 4000 kilog. lorsque ses deux extrémités seront solidement encastrées, comme *fig.* 56. On doit voir facilement que si la pièce de bois était soutenue par tous les points de sa face inférieure, sa résistance serait infinie.

On voit, d'après ces observations, combien il est avantageux que les poutres qui forment nos planchers soient fixées solidement par leurs extrémités dans les murailles, plutôt que d'être simplement posées sur des points d'appui (*).

(*) Tous les résultats que nous venons de citer sont donnés par le calcul ; mais il ne faut pas s'attendre à les trouver exactement par expérience, d'abord parce que les corps n'ont pas réellement l'homogénéité qu'on leur suppose mathématiquement, et qu'ensuite une multitude de circonstances dont le calcul fait abstraction, influent considérablement sur les résultats.

On trouve un précis des travaux des géomètres sur la résistance des corps, dans l'introduction au Traité analytique de la résistance des solides, par M. Girard ; mais il est bon de lire les Mémoires de Galilée, de Leibnitz, de J. Bernoulli, de Euler et de Lagrange, qui y sont cités.

Manière dont le corps se rompt. — Dans le cas où une pièce de bois fixée à son extrémité, vient à céder à l'effort qu'elle supporte, elle se rompt auprès du point d'appui ; dans le cas où elle est soutenue librement par ses deux extrémités, la rupture se fait au milieu ; enfin, si elle est solidement encastrée par les deux extrémités, *fig.* 56, elle se rompt en trois endroits, comme *fig.* 57.

(207) *Influence de la forme sur la résistance.* — Le calcul et l'expérience s'accordent pour montrer que la forme d'un corps influe considérablement sur sa résistance. Ainsi, par exemple, un prisme carré, d'une certaine longueur, présente moins de résistance qu'un cylindre de même longueur et dont le périmètre transversal serait égal. Au contraire, si le prisme est seulement rectangulaire et très-aplati, il résistera plus que le cylindre, lorsqu'il sera posé de champ.

Dans le cas de la figure 54, où le solide est encastré solidement à une extrémité, il est évident que la résistance sera beaucoup plus considérable, si ce solide, au lieu d'être d'un périmètre égal dans tous les points de sa longueur, se trouve plus gros à sa base et va graduellement en diminuant jusqu'à l'extrémité, comme *fig.* 58, où la partie pointillée *abc*, qui serait inutile à l'extrémité, se trouve portée en *ab'c.* Cette seule observation fait voir clairement qu'avec une quantité donnée de matière, on peut produire une résistance excessivement grande, si on sait lui donner des formes convenables (*).

Résistance d'un cylindre creux. Une quantité de matière donnée, disposée en cylindre creux, supporte un effort beaucoup plus considérable que lorsqu'elle est disposée en cylindre plein de même longueur. Ainsi un tube

---

(*) La partie mathématique qui traite de l'influence de la forme sur la résistance, est désignée plus particulièrement sous le nom de *Théorie des solides d'égale résistance.*

de verre résiste à un effort beaucoup plus grand, qu'une baguette de verre de même longueur et de même poids.

Nous trouvons dans les os des animaux, les plumes des oiseaux, un exemple de la sagesse infinie du Créateur, qui se rapporte aux considérations présentes. Les os sont des tubes qui remplissent à-la-fois le double objet de présenter une grande résistance, et d'être très-légers. Les plumes sont grosses et creusées en tubes à la partie encastrée dans les chairs, et hors de ce point d'appui, elles vont en diminuant de grosseur jusqu'à leur extrémité. Par cette disposition pleine de prévoyance, les plumes ont à-la-fois et la légèreté et la résistance convenables.

(208) *Le corps peut se rompre sous son propre poids.* — Il faut faire attention, dans les expériences qu'on peut faire sur la résistance horizontale des corps, que le poids de la pièce matérielle qu'on emploie, s'ajoute à celui dont on la charge. Mais, comme le poids du corps augmente avec les longueurs, et qu'au contraire la résistance diminue, il doit y avoir une certaine longueur où le poids fait équilibre à la résistance, et pour les longueurs suivantes le corps doit se briser sous son propre poids. Aussi, par exemple, une baguette de verre, d'un mètre de longueur et du diamètre d'environ 2 à 3 millimètres, se brise-t-elle sous son poids, lorsque la saisissant par une extrémité, on cherche à la maintenir horizontalement. Une semblable baguette de 3 à 4 mètres de longueur, posée librement par ses deux extrémités, se courbe sous son poids et finit bientôt par se briser. On trouve, par le calcul, qu'une pièce de bois de chêne de 33 mètres de longueur sur 1 décimètre d'équarrissage, posée librement et horizontalement par ses deux extrémités, se romprait sous son propre poids.

(209) *Influence de l'arrangement des particules des corps.* — La résistance varie aussi considérablement, suivant la manière dont les particules sont agrégées et arrangées entr'elles (199). Dans les corps à fibres droites paral-

lèles, il faut distinguer le cas où les fibres sont parallèles à la plus grande longueur du corps et celui où elles sont transversales. On conçoit facilement que dans le premier cas la résistance sera beaucoup plus grande que dans le second.

(210) *Influence des fissures et des pailles.* — La moindre fissure, dans le corps en expérience, peut diminuer sa résistance d'une manière très-remarquable; par exemple, le moindre trait de lime qu'on puisse faire sur la circonférence d'une baguette de verre, diminue tout de suite sa résistance de deux tiers, et quelquefois plus; un trait de lime sur une barre de fer, diminue aussi considérablement sa résistance; à plus forte raison certaines pailles la diminuent-elles. Les nœuds qui se trouvent dans une poutre produisent un effet analogue, et c'est souvent auprès d'eux que la poutre se rompt.

(211) *Différens degrés de résistance des bois.* — Les différens degrés de résistance que présentent les bois dans la position horizontale, étant d'une très-haute importance pour nos diverses constructions, ont été le sujet des recherches d'un grand nombre de savans. La table suivante indique quelques-uns des résultats obtenus par M. Hassenfratz; il faut remarquer que les bois ont été essayés sur des longueurs et des équarrissages différens, et ramenés aux mêmes dimensions par le calcul.

TABLEAU des Résistances de différens bois de 5 mètres de longueur sur 1 décimètre d'équarrissage, posés horizontalement et librement par leurs extrémités (*).

	Kilog.
Prunier a supporté avant de rompre.	1447
Orme	1077

(*) Au moyen des règles données (206), on pourra calculer la résistance des mêmes pièces encastrées solidement par un bout, ou encastrées par les deux bouts.

	kilog.
If.	1037
Charme.	1034
Hêtre	1032
Chêne	1026
Noisetier	1008
Pommier	976
Châtaignier.	957
Maronnier.	931
Sapin	918
Noyer	900
Poirier.	883
Bouleau.	853
Saule.	850
Tilleul.	750
Peuplier d'Italie.	586

On sait que c'est le chêne qui sert le plus généralement à nos différens genres de constructions; mais le sapin, quoique moins résistant, étant toujours à meilleur compte, pourrait être employé avec avantage, parce qu'étant plus léger, on pourrait tenir les pièces plus fortes sans charger davantage les murailles.

La résistance du même bois varie beaucoup suivant le lieu où il a été cultivé; par exemple, le chêne cultivé dans des endroits humides est beaucoup moins résistant que celui qui a crû dans une terre franche, ou dans un sol pierreux. Les ouvriers connaissent parfaitement les différences de résistance qui existent entre les bois de telle forêt, de tel pays, et les bois de tel autre.

La résistance varie aussi suivant la partie de l'arbre qu'on prend. Les parties des branches sont moins résistantes que celles du tronc, et le cœur d'un arbre sain est plus résistant que la circonférence.

(212) *On a fait aussi quelques expériences sur les fers* d'où on peut conclure, en général, que la fonte est

moins résistante que le fer forgé, à-peu-près dans le rapport de 1 à 5. La fonte blanche est, en général, moins résistante que la fonte grise. Les fers présentant une grande variation dans leurs qualités, en présentent aussi beaucoup dans leur résistance. Les métaux chauffés au rouge sont beaucoup moins résistans qu'à la température ordinaire.

(213) *Résistance des corps placés obliquement à l'horizon.* — Si, au lieu de fixer le corps dans la position horizontale, on le fixe dans une position inclinée, comme fig. 59, l'effort qu'il pourra soutenir sera beaucoup plus considérable, et d'autant plus que sa position approchera plus de la verticale. Dans ce dernier cas, on pourra distinguer deux sortes de résistances; l'une aura lieu lorsque le corps reposera par la partie inférieure sur un plan infiniment résistant, et que l'effort agira par la partie supérieure comme pour l'écraser; l'autre aura lieu lorsque le corps étant fixé à la partie supérieure, l'effort agira en le tirant par la partie inférieure. Ces considérations nous donnent les deux divisions suivantes.

ARTICLE III.

Résistance des corps à une pression qui tend à les écraser.

(214) Il faut supposer que le corps est appuyé, par sa base inférieure, sur un plan infiniment résistant, et qu'il est chargé de poids à sa partie supérieure. Dans cette position, sa résistance est excessivement grande; ainsi, par exemple, on peut s'asseoir ou monter en toute sécurité sur un tabouret dont les pieds sont formés par quatre baguettes de verre, tandis qu'on ne pourrait se placer impunément sur ces quatre baguettes, si elles étaient horizontalement à côté les unes des autres (*).

(*) Un cylindre de verre a pourtant, sous certaine grosseur, une résistance transversale considérable. On a employé avec avantage des cylindres de verre de 3 centimètres de dia-

(215) *Influence des dimensions du corps.* — Plus la hauteur du corps est considérable, comparativement aux dimensions de sa coupe transversale, moins il résiste à l'effort qui agit à sa partie supérieure. On trouve par le calcul, que les résistances des solides prismatiques placées verticalement, sont en raison inverse des carrés des longueurs, en raison directe de la largeur de la face par laquelle l'inflexion a lieu, et en raison directe des carrés des épaisseurs.

(216) *Les métaux et les bois se courbent avant de rompre; les pierres se fendent.* — Le fer, le bois, placés debout et chargés à la partie supérieure, commencent toujours par se courber avant de rompre sous le poids qu'ils supportent; ceci peut tenir à deux choses : à la difficulté de les placer bien verticalement, et au défaut d'homogénéité des différens points. Les pierres dont on se sert dans les constructions ne se courbent pas aussi souvent avant de rompre, mais elles commencent déjà à se fendre sous un poids à-peu-près moitié de celui qui est capable de les écraser entièrement. On remarque généralement qu'un corps, quoique chargé d'un poids moins considérable que celui qui peut l'écraser, finit par se courber ou éclater, lorsque l'effort est continué sur lui pendant un certain temps; c'est une circonstance analogue à celle que nous avons citée (204) pour la résistance horizontale.

(217) *Influence de la forme.*—La résistance d'un corps augmente avec sa grosseur; mais la forme qu'on peut lui donner y influe aussi considérablement : par exemple,

---

mètre et de 2 décimètres de longueur, pour former les *aluchons* des *lanternes* dans différentes machines à engrainages. Ces machines marchaient avec la plus grande facilité, parce qu'il n'y avait pas le frottement de bois sur bois qui détruit une grande partie de la force motrice.

un corps taillé en cône, fig. 60, ou en pyramide, soutient un effort beaucoup plus considérable que le même volume de matière taillé en cylindre ou en prisme, à base quelconque, de même hauteur, fig. 61. Un parallélipipède à base de parallélogramme rectangulaire, résiste moins à la pression qu'un parallélipipède de même hauteur et de même volume, dont la base est un carré; celui-ci résiste moins qu'un cylindre de même hauteur et de même volume.

Une quantité donnée de matière disposée en cylindre creux, supporte, étant debout, un effort plus considérable, que lorsqu'elle est disposée en cylindre plein de même hauteur. On sait que les cylindres de fer blanc possèdent une résistance verticale beaucoup plus grande qu'une tringle de fer de même hauteur, formée avec la même quantité de matière; il n'est personne qui n'ait remarqué qu'un cahier de papier roulé en cylindre est capable de supporter un effort très-considérable.

(218) *Un solide d'un seul morceau, résiste plus efficacement qu'un pareil solide composé de plusieurs parties.*— L'expérience prouve que plusieurs cubes placés l'un sur l'autre, résistent moins à la pression qu'un parallélipipède de même base et de même hauteur d'un seul morceau. Par conséquent, une colonne d'une seule pièce doit avoir plus de résistance qu'une colonne composée de plusieurs rondelles disposées sur le même axe; un édifice composé de grosses pierres doit être plus solide qu'un autre de même forme et dimension, composé de petites pierres. La plupart des édifices anciens des Romains, tels que l'aqueduc du Gard, les arênes de Nismes, d'Arles, différens arcs de triomphes, etc., sont, en général, composés de grosses pierres; peut-être est-ce pour cela qu'ils ont résisté si long-temps et se trouvent encore en bon état.

(219) La nature de la substance, la force de cohésion, la manière dont les particules sont arrangées entre

elles, apportent aussi leur influence sur la résistance.

(220) *Un corps peut s'écraser sous son propre poids.* — Il faut remarquer que la base d'une colonne supporte tout le poids de sa partie supérieure; d'où on peut conclure, par raisonnement, qu'une colonne très-élevée pourrait aussi être écrasée sous son propre poids; il pourrait en être de même d'une pièce de bois. Plus la matière employée sera légère, plus on pourra donner de hauteur à la colonne; ainsi, le sapin, qui est plus léger que le chêne, pourrait être dressé en colonne plus haute que lui. On trouve par le calcul, qu'une pièce de bois de chêne d'un mètre d'équarrissage et de 1295 mètres de hauteur, fléchirait sous son propre poids. Une pièce de sapin de même équarissage devrait avoir 1832 mètres de hauteur pour fléchir sous son poids. (Girard, *Traité analytique.*)

(221) *Rupture remarquable d'un cube.* — Nous avons fait remarquer (201) que, dans les corps homogènes, le choc détermine intérieurement la formation d'un mamelon élégant; nous trouvons un fait analogue consigné parmi les expériences de Péronnet, de Gauthey et de Rondelet, sur l'écrasement des pierres à bâtir. En soumettant des cubes de pierres à l'action d'une forte charge, ces savans ont remarqué qu'ils se divisaient souvent en six pyramides, *fig.* 62, dont les sommets se réunissaient au centre, et dont les bases étaient les faces du cube.

(222) *Pyramides analogues trouvées à Montmartre.* — MM. Desmarets et Prévost ont trouvé à Montmartre, il y a quelques années, des masses de terre marneuse, dont l'intérieur est aussi divisé en six pyramides qui ont leurs sommets réunis en un point central. M. Girard, qui a expliqué mathématiquement la division d'un cube en six pyramides par la pression, a supposé que les pyramides trouvées à Montmartre résultaient de la pression que les couches supérieures de la montagne avaient exercée sur la couche de marne; mais l'examen des nombreux échantillons que nous

avons eu entre les mains, l'examen des circonstances locales, ne nous permettent pas d'être de l'avis du savant ingénieur des ponts et chaussées. D'ailleurs, l'analyse mathématique ne s'applique qu'à un cube, et n'indique pas qu'une pression qui agit sur une masse étendue, puisse produire en différens points de sa largeur et de son épaisseur, des ruptures en pyramides.

Nous croyons que ces pyramides ont été produites au milieu de la masse pendant son dessèchement, et résultent d'un retrait régulier autour d'un point; ce que les lois de la mécanique indiquent comme possible.

(223) *Il a été fait beaucoup d'expériences sur la résistance des pierres à bâtir;* elles se trouvent consignées dans plusieurs ouvrages, et notamment dans le premier volume de l'*art de bâtir*, par Rondelet. Il en résulte, en général, que les pierres dont le grain est le plus fin, et la contexture plus compacte, sont les plus résistantes. On croit reconnaître que dans les pierres de même composition, les résistances sont entr'elles comme les cubes des densités. Tous ces résultats sont extrêmement importans dans l'art de bâtir.

(224) *Expérience sur la résistance des bois de chêne et de sapin.* — M. Girard a fait avec beaucoup de soin un grand nombre d'expériences sur les bois; mais, partant de l'observation que ces corps commencent toujours par se courber avant de se rompre, il a préféré, comme plus important pour les divers genres de construction, de chercher le poids que les bois de chêne et de sapin, sous diverses dimensions, peuvent soutenir avant de se courber. Il résulte de ces expériences que le sapin est moins résistant que le chêne. Dans le cours de ses recherches, M. Girard a remarqué que les bois méplats se courbaient ordinairement par la plus large face; que quelquefois ils se courbaient dans deux sens, et que cela arrivait toujours dans les bois carrés. (*Voyez son Traité analytique de la résistance des solides.*)

ARTICLE IV.

Résistance que les corps opposent aux forces qui tirent leurs parties en sens opposés.

(225) *Pour déterminer cette résistance*, on fixe le corps par une extrémité, et on suspend à l'autre un plateau qu'on charge petit à petit de poids, jusqu'à ce qu'on parvienne à un qui rompt subitement l'adhérence.

C'est plus particulièrement à cette sorte de résistance qu'on donne souvent le nom de ténacité. On la regarde comme indiquant la force de cohésion des particules; il est bien vrai qu'elle est variable dans chaque corps avec la cohésion; mais, pour comparer entr'elles deux substances différentes, et en tirer une induction sur la force qui unit les particules, il faudrait être certain que, dans chaque substance, les particules se trouvent exactement dans les mêmes positions respectives; mais cette certitude est fort difficile à acquérir.

(226) *Influence des dimensions du corps*— La longueur du corps mis en expérience, influe généralement peu sur les résultats; mais il est évident que, plus la grosseur sera considérable, plus la résistance sera grande. On trouve, par le calcul, qu'elle est en raison directe du produit des deux dimensions, largeur et épaisseur.

(227) *L'espèce de résistance dont nous traitons ici, varie aussi considérablement, suivant l'état d'agrégation et le mode d'arrangement des particules.* Si la substance mise en expérience est composée de lames appliquées les unes sur les autres, il faudra distinguer le cas où la force déchirante agit parallèlement aux plans de ces lames, et celui où elle agit perpendiculairement; il faudra faire une distinction semblable sur les corps composés de fibres droites parallèles, comme le bois, par exemple, qui résiste beaucoup lorsque les fibres se trouvent en long, et très-peu lorsqu'elles se trouvent en travers.

(228) *Résistance des métaux.* — Ce sont, en général, les métaux qui présentent le plus de résistance ; mais dans chacun d'eux cette résistance varie avec la contexture et suivant le degré de rapprochement des molécules. Les métaux simplement fondus et coulés en barres, ont moins de ténacité que les métaux qui ont été forgés ou étirés en fils.

TABLEAU des résistances que présentent des fils métalliques de 2 millimètres de diamètre.

	kilog.	
Fer, *supporte avant de rompre.*	279,3	
	249,659	Sickingen.
	195,9	
Cuivre	175,17	
	137,399	Sickingen.
Platine	124,690	Guyton-Morvaux.
Argent	85,062	Sickingen.
Or	68,216	
Etain	24,2	Mussembroeck.
Zinc	12,72	
Plomb	9,75	

En vertu de la ductilité, le fil métallique soumis à l'expérience, s'allonge d'une certaine quantité ; il se trouve toujours diminué de diamètre à l'endroit de la rupture. On voit, par la table précédente, que ce sont les métaux les plus ductiles qui présentent le moins de résistance, parce que ce sont ceux qui s'allongent plus facilement.

L'élévation de température diminue beaucoup la résistance des métaux, parce qu'elle augmente leur ductilité. Par exemple, un fil de fer qui à la température ordinaire soutient un certain poids, n'en soutient pas la moitié, souvent même pas le quart, lorsqu'on le fait passer à travers un fourneau rempli de charbons allumés, pour le maintenir rouge pendant l'expérience.

(229) *Résistance des bois et des cordes.* — Mussembroeck a fait aussi beaucoup d'expériences sur la résis-

tance des bois chargés à la partie inférieure ; mais les barreaux sur lesquels il a opéré étaient de petite dimension. D'après son travail, le hêtre et le chêne sont les bois les plus résistans parmi ceux qu'on emploie habituellement ; le bois blanc, et surtout le sapin, le sont infiniment moins.

Les divers degrés de résistance des cordes sont aussi d'un usage assez important. On a trouvé, en général, que plus les cordes sont tordues, moins elles résistent à l'action de l'effort ; cependant, il est nécessaire qu'elles aient un certain degré de torsion, et c'est là le point le plus délicat de l'art du cordier : suivant les expériences diverses qui ont été faites à ce sujet, il faut que la torsion soit telle qu'elle ne diminue pas la longueur de plus de $\frac{1}{5}$.

Les cordes goudronnées ont moins de résistance que les cordes blanches, et si on les couvre ordinairement d'un tel enduit, c'est pour les préserver de l'action alternative de l'eau et de l'air qui les pourrit très-promptement. On a quelquefois substitué le tannage des fils au goudronnage : il paraît que cela a assez bien réussi ; mais on ne l'emploie pas habituellement en grand, si ce n'est pour les filets.

DEUXIÈME SECTION.

CORPS SOLIDES EN MOUVEMENT.

Pour résoudre les problèmes de dynamique lorsque les forces sont appliquées à un corps solide, il faut avoir égard à la manière dont ces forces sont modifiées en vertu de la liaison mutuelle qui existe entre leurs différens points d'application. Il faut aussi prendre en considération les diverses propriétés de ces corps, ainsi que celles des corps environnans ; c'est ce que nous allons faire dans cette section.

CHAPITRE XII.

Mouvement des corps solides autour de leurs centres d'inertie.

(230) *Dans quel cas un corps peut prendre un mouvement de rotation autour de son centre d'inertie.* — *a.* Lorsque la résultante des forces qui sollicitent un corps, passe par le centre de gravité ou *centre d'inertie*, il est évident que tous les points de ce corps doivent se mouvoir parallèlement avec une vitesse commune.

b. Lorsque les forces qui sollicitent un corps se réduisent à un couple, le centre d'inertie reste en repos, et les autres points prennent un mouvement de rotation autour de lui.

c. Lorsque les forces se réduisent à une résultante unique, qui ne passe pas par le centre d'inertie, le corps

acquiert à-la-fois deux mouvemens indépendans l'un de l'autre : l'un de translation du centre d'inertie, l'autre de rotation autour de ce centre, comme autour d'un point fixe. Dans ce cas, quel que soit le point d'application de la force, le centre d'inertie se meut de la même manière que si elle lui était immédiatement appliquée ; en effet, soit P la force appliquée au point *a* du mobile *fig.* 63, dont *c* est le centre d'inertie ; appliquons en *b*, parallèlement à P, deux forces *p* et *p'* égales et opposées, dont chacune soit $\frac{1}{2}$P; il n'y aura rien de changé par l'addition de ces forces. Si on combine la force *p* avec la moitié de la force P, on aura une résultante égale à P qui passera par le centre d'inertie, et qui communiquera à la masse toute la vitesse dont elle est capable ; il restera un couple ($\frac{1}{2}$ P, *p'*) qui déterminera un mouvement de rotation de la même manière que si le centre était fixe.

La position de l'axe de rotation et la vitesse de rotation dépendent du point d'application de la force. La vitesse de rotation est d'autant plus grande, que la direction de cette force est plus éloignée du centre d'inertie.

(231) *Axe permanent de rotation.*— Lorsqu'un corps solide prend un mouvement de rotation autour d'un axe fictif, toutes ses particules acquièrent des forces centrifuges, en vertu desquelles elles tendent à s'éloigner indéfiniment les unes des autres. Si toutes les forces centrifuges se font équilibre, l'axe de rotation sera permanent ; dans le cas contraire, l'axe de rotation changera successivement de position, jusqu'à ce qu'il soit arrivé à une position telle que l'équilibre puisse exister.

L'équilibre entre les forces centrifuges exige que les particules situées de part et d'autre de l'axe de rotation, soient à égales distances de cet axe.

(232) On nomme *axes principaux* toutes les lignes autour desquelles les forces centrifuges peuvent se faire équilibre, et qui, par conséquent, peuvent devenir des

axes permanens de rotation. Dans une sphère, chaque diamètre est un axe principal; en sorte que si le mouvement de rotation a commencé autour de l'un d'eux, il continuera constamment de la même manière, tant qu'il ne sera troublé par aucune nouvelle force. Dans un ellipsoïde de révolution, l'axe de révolution est un axe principal; tous les diamètres de l'équateur sont aussi des axes principaux. On voit donc que, dans plusieurs corps, il peut exister un nombre infini d'axes principaux; mais on démontre, en général, que dans tous les corps, de quelque figure qu'ils soient, il existe toujours trois lignes convergentes à angle droit, qui jouissent de la propriété des axes principaux.

(233) On démontre que le *mouvement de rotation* est dans un état *stable*, lorsqu'il a lieu autour d'un des axes principaux pour lequel le *moment d'inertie* est un maximum ou un minimum; dans ce cas, si une cause quelconque vient à changer tant soit peu l'axe de rotation, l'axe instantané oscillera de part et d'autre de l'axe permanent, jusqu'à ce que la stabilité soit rétablie (*).

On démontre, au contraire, que *le mouvement n'est pas stable* lorsqu'il s'effectue autour d'un axe principal, pour lequel le moment d'inertie n'est ni un maximun ni un minimum; en sorte que si une force quelconque vient à changer tant soit peu l'axe de rotation, l'axe instantané s'en écartera indéfiniment.

(234) *Mouvement de translation de l'axe de rotation.* — Un corps qui, par l'action d'une force excentrique, a reçu à-la-fois un mouvement de translation et un mouvement de rotation stable, se meut dans l'espace, de manière que l'axe de rotation est transporté parallèlement à

(*) On nomme *moment d'inertie* la somme des élémens matériels multipliés respectivement par le carré de leur distance à l'axe fixe.

lui-même avec le centre d'inertie. Réciproquement, lorsqu'on voit un corps solide tourner autour d'un axe qui, pendant le mouvement de translation, reste constamment parallèle à lui-même, ou qui s'écarte très-peu du parallélisme en faisant de petites oscillations de part et d'autre d'une position moyenne, il en faut conclure que l'axe de rotation est un des axes principaux qui passent par le centre d'inertie, et qui répondent au maximum ou au minimum des momens d'inertie. C'est ce qui a lieu à l'égard des planètes.

Le mouvement de rotation d'un corps ne peut être troublé par l'action d'une force qui passe par le centre d'inertie; l'action de la gravité ne peut donc altérer le mouvement de rotation imprimé à un corps par une cause quelconque; elle n'a d'influence que sur le mouvement du centre d'inertie, auquel elle fait décrire une section conique dont le foyer est au centre de la terre. Pendant ce mouvement, l'axe de rotation reste constamment parallèle à lui-même.

(235) *Perturbation des planètes.* — Si les planètes étaient sphériques et homogènes, l'attraction que le soleil exerce sur elle passerait constamment par leur centre de gravité, et ne pourrait en aucun instant troubler leur mouvement de rotation. Mais les planètes étant aplaties vers les pôles, l'attraction que le soleil exerce sur toutes leurs particules ne passe pas constamment par leur centre de gravité, dans toutes les positions diverses qu'elles prennent relativement à cet astre; il en résulte quelques légères perturbations dans le mouvement de rotation.

La théorie et l'observation n'ont fait découvrir aucune perturbation dans la vitesse de rotation de la terre; mais on démontre que les attractions que le soleil et la lune exercent sur cette planète, font varier la position de son axe de rotation dans l'espace; en sorte que cet axe, quoique passant constamment par les mêmes points de la surface

du globe, ne passe pas toujours par les mêmes points du ciel, lorsqu'on le conçoit prolongé indéfiniment.

(236) *Expériences sur les sujets précédens.* — Les résultats que nous venons d'énoncer sont donnés par le calcul : il est difficile de les démontrer rigoureusement par l'expérience ; mais on peut au moins acquérir une certaine certitude de leur vérité.

Pour démontrer le premier résultat, n.° 230 *a*, on suspendra un plan circulaire par son centre à l'extrémité d'une corde. Si on applique alors un coup de marteau sur ce corps, dans une direction normale à la circonférence, on le verra se mouvoir en avant sans prendre aucun mouvement de rotation.

Pour le second résultat, n.° 230 *b*, on appliquera les doigts, en sens contraire, aux extrémités d'un même diamètre du plan circulaire, et on les tirera ensuite avec vitesse en appuyant sur le corps auquel on fera ainsi prendre un mouvement de rotation sans aucun mouvement de translation.

Quant au troisième résultat, n.° 230 *c*, il faudra appliquer au corps une force qui ne passe pas par le centre d'inertie, et on lui verra alors prendre les deux sortes de mouvement à-la-fois ; mais il n'est guère possible de voir, par cette expérience, que l'axe de rotation reste parallèle à lui-même pendant le mouvement de translation.

CHAPITRE XIII.

Du choc des corps solides.

Nous distinguerons le choc des corps ductiles et le choc des corps élastiques, et nous supposerons, pour établir la théorie, que les corps sont parfaitement ductiles ou parfaitement élastiques.

Nous donnerons au choc l'épithète *central*, lorsque les corps se mouvront sur une même ligne, qui joindra leurs centres d'inertie; nous lui donnerons l'épithète *excentrique*, dans le cas contraire.

ARTICLE PREMIER.

Choc central des corps ductiles.

(237) *Les corps se mouvant en sens contraires avec des quantités égales de mouvement.* — Il est évident que si deux sphères égales de matière ductile, de terre glaise humide, par exemple, qui se meuvent en sens contraire sur la même ligne, viennent à se rencontrer, elles s'aplatiront l'une sur l'autre et se réduiront au repos.

Si ces sphères, sans être égales, possèdent des quantités égales de mouvement, la même chose aura lieu.

Si dans les usages habituels, on n'a pas eu occasion d'observer de semblables circonstances, on pourra faire à ce sujet des expériences directes. Pour cela, on suspendra des boules de terre glaise à des fils de même longueur, accrochés au même point fixe A, *fig.* 64; on dis-

posera vis-à-vis ces boules et à peu de distance, un arc de cercle gradué, comme le représente la figure (*).

Cela fait, les deux sphères étant égales, si on les élève chacune à la même hauteur de part et d'autre du zéro de l'échelle, pour les abandonner ensuite à elles-mêmes au même instant, on pourra observer, que pendant le choc, elles s'aplatissent l'une sur l'autre et se réduisent au repos.

(238) *Les quantités de mouvement étant inégales.* — Lorsque deux corps ductiles qui se meuvent sur la même ligne, en sens contraires, viennent à se rencontrer, l'effet de leur choc mutuel est en général de les réduire en une seule masse qui prend la même vitesse que si les forces lui étaient immédiatement appliquées; en sorte que la masse totale, après le choc, se meut avec la différence des quantités de mouvement et dans le sens du corps qui en possédait la plus grande : c'est à quoi conduisent les considérations mathématiques et l'expérience.

(*) Pour diviser l'échelle que représente la figure, il faut, à partir de zéro, point le plus bas que le corps pesant puisse atteindre, prendre des arcs de cercles dont les cordes suivent la progression 1, 2, 3, 4, 5, etc., parce qu'on démontre que les vitesses acquises sont comme les cordes parcourues. En effet, soient v et v' les vitesses à la fin de la chute par les arcs BE, BD, *fig.* 65; ces vitesses sont celles qui seraient acquises par la chute libre dans les verticales FB, CB (94). Or, les espaces parcourus sont comme les carrés des vitesses finales (47); de sorte qu'on a $v^2 : v'^2 :: FB : CB$. Si on complète le cercle et qu'on décrive les lignes BD, BE, DG, EG, on aura (Géométrie.) $BG : BE :: BE : BF$, et $BG : BD :: BD : BC$, d'où on tire

$BF = \frac{\overline{BE}^2}{BG}$, $BC = \frac{\overline{BD}^2}{BG}$, d'où $v^2 : v'^2 :: \overline{BE}^2 : \overline{BD}^2$ au $v : v' :: BE : BD$.

L'échelle étant ainsi construite, si on élève, par exemple, une boule à 6^d, et l'autre à 10^d les vitesses à la fin des chutes seront comme les nombres, 6 et 10.

Vitesse après le choc.—Soient, d'après cela, mv, $m'v$, les quantités de mouvement, et soit u la vitesse après le choc; on aura $(m+m')u = mv - m'v'$. (La quantité de mouvement, après le choc, égale à la différence des quantités de mouvement des corps); d'où on tire

$$u = \frac{mv - m'v'}{m + m'}.$$

Qu'on prenne deux boules dont le masses soient, par exemple, dans le rapport de 2 à 3; qu'on les élève de part et d'autre du point zéro à 10^d, on aura, d'après la formule, $u = 2$; ainsi les deux masses réunies parcoureront ensemble 2^d dans le sens de la plus grande masse. C'est effectivement ce qu'on observe.

Si l'une des masses est en repos, la formle se réduit à $u = \frac{mv}{m+m'}$; car, il faut y faire une des vitesses égale à zéro. Qu'on laisse une des deux boules égales en repos, et qu'on élève l'autre à 10^d, on verra, après le choc, que les deux boules remontront ensemble de l'autre côté jusqu'au 5.me degré, comme le donne la formule.

Si la masse en repos est 2, par exemple, et l'autre 3, on verra, après le choc, les deux masses parcourir ensemble 4^d, comme l'indique encore la formule.

Si la masse en repos est extrêmement grande, par rapport à la masse choquante, l'expression $\frac{mv}{m+m}$, devient extrêmement petite; de sorte que la vitesse de la masse choquée est absolument inappréciable. C'est ce qui a lieu lorsqu'un corps vient frapper, par exemple, contre un rocher. On peut cependant s'apercevoir quelquefois que le mouvement de la masse choquée n'est pas absolument nul; car, par exemple, lorsqu'on jette une pierre, même assez légère, contre le tronc d'un gros arbre, on voit toujours ses branches prendre un léger mouvement.

(239) *Les corps se mouvant dans le même sens.*—Si les corps, sous la condition de se mouvoir sur la même ligne, sont dirigés dans le même sens, avec des vitesses différentes, et tellement que l'un puisse atteindre l'autre, la quantité de mouvement, après le choc, sera la somme

des quantités de mouvement qui existaient avant; de sorte qu'on aura $(m+m')u=mv+m'v'$, d'où on tire

$$u=\frac{mv+m'v'}{m+m'}$$

Qu'on prenne deux boules égales, qu'on les élève, d'un même côté de zéro, l'une à 10^d, l'autre à 6^d; qu'on laisse tomber celle-ci, puis l'autre après un petit intervalle de temps, pour qu'elles se rencontrent toutes deux sensiblement au zéro de l'échelle; on aura une vitesse égale à 16 qui sera partagée à une masse égale 2, d'où il résultera une vitesse 8. C'est ce que donne l'expression $u=\frac{mv+m'v'}{m+m'}$; l'expérience fait voir qu'effectivement les deux boules parcourent ensemble un espace de 8^d.

ARTICLE II.

Choc central des corps élastiques.

(240) Nous distinguerons ici deux cas; savoir :

1.° Le cas où les corps n'emploient qu'un temps inappréciable pour s'aplatir autant que l'exigent les vitesses acquises, et revenir à leur forme naturelle;

2.° Le cas où les corps emploient un temps appréciable, quoique déjà très-court, pour s'aplatir sous le coup et revenir à leur état naturel.

PREMIER CAS.

(241) Pour tout ce qui regarde ce premier cas, nous substituerons dans l'appareil, *fig.* 64, des boules d'ivoire à celles de terre glaise dont nous nous sommes servi jusqu'ici, parce que, outre que l'ivoire est un corps parfaitement élastique, il est aussi un de ceux dont la compression et le retour à l'état naturel s'effectuent dans un temps absolument inappréciable.

Après avoir disposé un plan inflexible et inébranlable

au zéro de l'échelle, qu'on élève une des boules d'ivoire au 10.e degré, par exemple, pour la laisser tomber; on la verra, après le choc, revenir sur ses pas et remonter sensiblement à 10 degrés : voici comment on doit concevoir cet effet : à l'instant où la boule d'ivoire frappe le plan, elle s'aplatit subitement et perd instantanément toute sa vitesse ; mais à peine est-elle réduite au repos, que retournant subitement à sa forme primitive en vertu de l'élasticité, elle est lancée en arrière avec une vitesse égale à celle qu'elle possédait avant le choc. C'est d'après ce résultat d'expérience, qu'on établit le calcul pour parvenir aux formules qui donnent la vitesse et la direction du mobile après le choc.

(242) *Des masses égales se mouvant en sens contraires avec la même vitesse.* — Lorsque deux boules d'ivoire de même volume, qui se meuvent en sens contraires, sur la même ligne et avec la même vitesse, viennent à se rencontrer, elles s'aplatissent mutuellement et perdent instantanément leurs vitesses; mais à peine ces vitesses sont-elles éteintes, que les boules reprenaut subitement leur forme primitive, réagissent l'une sur l'autre, et que chacune d'elles acquiert une vitesse rétrograde égale à celle qu'elle avait avant le choc. Qu'on élève chaque bille d'ivoire à 10^d, par exemple, l'une à droite, l'autre à gauche de zéro, et qu'on les abandonne au même moment; on verra, après le choc, chaque bille remonter l'arc qu'elle a parcouru en descendant.

Si les masses étant égales, les vitesses sont différentes, les mobiles, après le choc, rebrousseront chemin et auront échangé leurs vitesses. Qu'on élève la boule m à 6^d, et la boule m' à 10^d, qu'on laisse tomber celle-ci la première, puis l'autre après un petit intervalle de temps, afin qu'elles arrivent au même moment à zéro; on verra la boule m' qui possédait une vitesse 10, revenir sur ses pas à 6^d, et l'autre remonter à 10^d.

Pour concevoir complètement ce résultat, analysons

l'effet du choc, qui a réellement lieu en différens instans très-rapprochés l'un de l'autre. La boule *m* fait d'abord perdre 6^d de vitesse à la boule *m'* et se trouve réduite à zéro ; alors la boule *m'* la presse et partage avec elle les 4^d de vitesse qui lui restent, en sorte que les deux boules tendent à se mouvoir ensemble sur l'arc BC avec 2^d de vitesse. Prenons alors l'élasticité en considération, la force de ressort avec laquelle les boules réagissent l'une sur l'autre au premier instant est de 6^d; puis elle est augmentée de 2^d, en vertu du partage de la vitesse 4^d, qui est restée à la boule *m'*; donc les deux boules réagissent réellement l'une sur l'autre avec une force de 8^d de vitesse. D'après cela, la boule *m* est sollicitée à remonter à 8^d sur l'arc *Bc* ; mais elle possède déjà 2^d dans ce sens, donc elle doit remonter à 10^d. Quant à la boule *m'*, elle est sollicitée, en vertu de la force de ressort, à remonter à 8^d sur BD ; mais elle possède 2^d de vitesse en sens inverse, donc elle ne parcourera sur cet arc que 6^d.

(243) *Les deux billes étant égales, supposons que l'une se trouve en repos* et que l'autre vienne la frapper, la bille choquante restera alors en repos après le choc, et la bille choquée acquerra toute sa vitesse. Qu'on élève la bille choquante à 10^d, et qu'on l'abandonne à elle-même ; on la verra, après le choc, rester en *zéro*, tandis que la bille choquée parcourera 10 degrés.

Dans ce cas, la bille choquante venant à rencontrer la bille en repos partage d'abord sa vitesse avec elle; en sorte que toutes deux tendent à se mouvoir avec une vitesse de 5^d. Or, le partage de vitesse a déterminé dans chaque corps une force de ressort de 5^d ; la bille choquante doit donc revenir sur ses pas avec 5^d de vitesse ; mais elle en possède autant en avant, donc elle doit rester en repos ; la bille choquée acquiert par l'action du ressort 5^d de vitesse qui s'ajoutent aux 5^d qu'elle possède.

Cet effet se présente souvent au jeu de billard, où la bille choquante reste à la place de la bille choquée.

Supposons que la masse du corps en repos soit double de la masse choquante; élevons celle-ci à 6^d; nous la verrons, après le choo, revenir sur ses pas à 2^d, et la bille choquée se porter en avant à 4^d. Dans ce cas, le premier effet du choc est de réunir les deux mobiles; la vitesse 6 se trouve alors partagée à une masse 3, et il en résulte, pour cette masse, une vitesse 2. La force de ressort avec laquelle les mobiles réagissent l'un sur l'autre est déterminée par la perte de vitesse 4; d'après cela, la bille choquante doit retourner sur ses pas avec une vitesse 4; mais elle a en avant une vitesse 2, donc elle ne pourra se porter en arrière qu'avec une vitesse 2. La bille choquée, qui a une masse double, n'acquiert, par la même force de ressort, qu'une vitesse 2, qui s'ajoute à celle qu'elle possède et forme pour elle une vitesse 4.

Si la masse en repos est extrêmement résistante, le corps choquant perdra d'abord sur elle toute sa vitesse, et retournera ensuite sur ses pas avec une vitesse égale.

(244) *Si les billes se meuvent dans le même sens avec des vitesses inégales* et de manière que l'une puisse rencontrer l'autre, il y aura encore échange de vitesses à l'instant du choc. Qu'on élève les deux boules m et m' d'un même côté de zéro, la première à 6^d, la seconde à 10^d, on verra, après le choc, la boule m parcourir 10^d en avant, et la boule m' en parcourir 6. Or, voici comment cela arrive : le premier effet du choc est de réunir les masses en une seule, dont la vitesse est 8 ; la boule m a donc gagné 2^d de vitesse, et la boule m' en a perdu 2^d. L'effet de l'élasticité qui se manifeste ensuite, est de donner à m' 2^d de vitesse rétrograde; or, elle en possède 8^d en avant; il lui en restera donc 6. La boule m acquerra 2^d de vitesse en avant, qui s'ajoutant avec les 8^d qu'elle possède, formeront 10^d.

DEUXIÈME CAS.

(245) *Il est essentiel, dans la pratique, de prendre en considération le temps que certains corps emploient à se comprimer et à revenir à leur état naturel*, autrement on pourrait tomber dans des erreurs très-graves, dont quelquefois les plus grands géomètres n'ont pu se défendre au premier moment. D'ailleurs il existe, dans les arts et les usages de la vie, une multiude d'effets dont il serait impossible de se rendre compte sans cette considération.

Expériences. — Nous prendrons pour faire les expériences relatives à ce cas, des boules d'ivoire recouvertes de caoutchoux (gomme élastique). Après avoir disposé, comme dans l'expérience (n.º 241), un plan inflexible et inébranlable au zéro de l'échelle, qu'on élève la bille d'ivoire couverte de caoutchoux à 10^{d}, on verra qu'après le choc, elle ne remontera guère que de 4^{d} à 6^{d}. Or, le caoutchoux est aussi bien que l'ivoire un corps parfaitement élastique; la différence qu'on observe ne peut venir que de ce que la compression et le retour à la forme naturelle ne se font pas instantanément, mais petit à petit; en sorte que la vitesse du mobile ne se détruit que successivement par petites portions. Au contraire, dans les corps qui se compriment et se rétablissent instantanément, la vitesse est anéantie en un seul instant, pendant lequel toute l'action se déploie, et il en résulte que la pression est extrêmement forte.

On pourra répéter, avec les boules d'ivoire couvertes de caoutchoux, toutes les expériences que nous avons citées dans le premier cas du choc des corps élastiques, et on obtiendra toujours des résultats très-différens de ceux qui se sont manifestés alors. Pour prévoir ces résultats, il faudrait pouvoir apprécier, dans chaque cas, le temps de la compression.

(246) *Explication de diverses circonstances qui se présentent habituellement.* — On trouve, dans les usages de la vie, une multitude d'effets dont il est facile de se rendre compte, en prenant le temps de la compression en considération. Par exemple, tout le monde sait qu'une tasse de porcelaine, un verre, etc., se brisent en tombant d'une petite hauteur sur le plancher d'un appartement carrelé, tandis que cela n'arrive pas aussi souvent sur un parquet; on sait aussi qu'on peut jeter cette tasse d'une très-grande hauteur sur un tas de paille, sans la briser : tout cela est facile à concevoir. Dans le premier cas, toute la vitesse se perd en un instant infiniment court, et il en résulte une pression considérable entre les deux corps. Dans les autres cas, au contraire, et surtout dans le dernier, la vitesse du mobile ne se perd que petit à petit, et l'effet du choc se trouve ainsi partagé en plusieurs instans.

On sait également qu'en battant un morceau de métal sur une enclume, on parvient à le forger à sa volonté, chaque coup de marteau produisant alors un effet sensible; mais si on plaçait un ressort à boudin entre l'enclume et le métal, à peine laisserait-on sur le corps quelques marques du choc : c'est que, dans le premier cas, l'enclume cède instantanément et se rétablit de même; en sorte que la vitesse du marteau est perdue en un seul instant, et que, dès lors, la pression qui en résulte produit un effet marqué. Au contraire, dans le second cas, le ressort cède petit à petit, et la vitesse du marteau ne se perd que dans une suite d'instans successifs.

On sait aussi qu'on ne peut forger un métal sur un bloc de bois ou avec un marteau de bois; la raison en est encore que le bois ne se comprime que petit à petit.

Divers ouvriers, comme les planeurs, les orfèvres, etc., qui travaillent en chambre, où ils sont obligés de forger des métaux, ébranleraient considérablement les planchers, s'ils n'avaient trouvé un moyen d'*amortir* les coups, en plaçant sous les billots qui supportent les petites enclumes

des nattes de paille ou autres corps qui ne cèdent que petit à petit.

Tous les forgerons savent que, pour forger les métaux, il est nécessaire que l'enclume soit très-lourde et placée sur un plancher très-solide ; effectivement, dans ce cas, la force du coup se déploie instantanément sur le corps. Si l'enclume était légère ou placée sur un plancher lentement élastique, la force du coup ne se déploirait que successivement.

(247) *Autres effets analogues indépendans de l'élasticité.* — Il existe un grand nombre d'autres effets qui sont indépendans de l'élasticité ; mais qui se rapprochent, dans le fond, des effets précédens. Par exemple, tout le monde sait qu'un bateau se brise lorsqu'il vient heurter contre un rocher ou contre les piles d'un pont, tandis que le même accident n'arrive pas lorsqu'il vient frapper contre un autre bateau ; c'est que, dans le premier cas, l'obstacle ne cédant pas sensiblement, le mobile perd sa vitesse instantanément ; tandis que, dans le second cas, l'obstacle venant à céder, le mobile ne perd sa vitesse que par portions successives.

Il n'est personne qui ne sache que, pour arrêter dans sa chute un corps d'un certain poids, il faut lui céder à l'instant du choc au lieu de se roidir tout-à-coup contre lui ; une sorte d'instinct nous fait employer ce procédé, pour retenir sur la main un corps d'un certain poids descendu d'une certaine hauteur.

Les bateliers savent que pour arrêter, au moyen d'une corde, un bateau qui est entraîné par le courant d'une rivière, il faut laisser filer un peu pour vaincre l'effort par degrés ; sans cette précaution, on risquerait de rompre la corde.

Les fortifications de campagne que l'on construit avec des espèces de paniers cylindriques sans fonds (*gabions*), placés les uns à côté des autres, et qu'on remplit ensuite de terre, résistent, en quelque sorte, avec plus d'énergie à

l'action des projectiles lancés contr'elles, que ne le ferait une construction de maçonnerie; parce que la terre cédant facilement au choc, le projectile s'y enfonce et perd peu-à-peu sa vitesse, et qu'au contraire la maçonnerie s'opposant brusquement au choc, fait perdre au projectile toute sa vitesse en un instant; d'où il résulte une pression énorme.

Néanmoins, comme le massif de terre se trouve bientôt criblé de trous, et que dès lors il s'écroule de lui-même, il est nécessaire, pour les fortifications permanentes, qu'il y ait des revêtemens en pierres : il serait fort utile de pouvoir couvrir ce revêtement par un terrassement, dans le cas d'attaque ; c'est à quoi on parvient quelquefois au moyen des sacs de terre.

ARTICLE III.

Du choc excentrique.

(248) *Lorsqu'un corps sphérique ductile tombe obliquement sur un plan* CD, *fig.* 66, on peut décomposer sa vitesse en deux, l'une perpendiculaire au plan et l'autre parallèle. Il est évident qu'en frappant en B sur le plan, le mobile A perd sa vitesse perpendiculaire, mais qu'il conserve sa vitesse parallèle avec laquelle il glisse de B vers D.

(249) *Si le corps A rencontre un corps sphérique mobile*, suivant une direction qui ne passe pas par son centre d'inertie, on peut décomposer sa vitesse en deux, l'une passant par le centre d'inertie du corps choqué, l'autre perpendiculaire à la première. On détermine l'effet du choc, en ne faisant attention qu'aux vitesses qui ont lieu sur la même droite; mais ensuite on combine la vitesse que conserve le corps choquant avec la vitesse perpendiculaire, pour connaître sa route après le choc.

(250) *Si un corps élastique sphérique vient choquer un plan suivant une direction oblique* AB, *fig.* 67,

il est réfléchi suivant la direction BC, en faisant l'angle DBC = EBA. Le premier de ces angles se nomme *angle de réflexion*, le second, *angle d'incidence*.

Cet éffet est facile à concevoir ; car, supposons la vitesse du corps A décomposée en deux, l'une perpendiculaire au plan, l'autre parallèle. A l'instant du choc en B, la vitesse perpendiculaire sera d'abord détruite, et le corps tendrait à se mouvoir suivant BD avec la vitesse parallèle ; mais l'élasticité détermine dans le mobile une vitesse perpendiculaire égale et contraire à celle qu'il a perdue, et cette vitesse combinée avec la vitesse parallèle lui fait décrire la diagonale BC.

(251) *Si le corps choquant*, au lieu de tomber sur une surface plane, *tombe sur une surface courbe*, *fig.* 68 et *fig* 69, il faudra regarder le point de contact comme un très-petit plan, tirer la normale BF à ce point, et faire FBD = FBA ; la ligne BD sera la direction du corps.

(252) *Supposons maintenant que le corps choqué B soit une sphère mobile*, *fig.* 70, et que le corps A se porte sur lui de manière que la direction de son mouvement ne passe pas par son centre.

Lorsque A sera arrivé en A', on pourra décomposer sa vitesse en deux : l'une suivant DA', qui passera par le centre du corps choqué ; l'autre suivant CA' à angle droit de la première, et qui ne pourra en rien influer sur la boule B.

Si les boules A' et B sont de même masse, la première sera réduite au repos, et la seconde acquerra toute sa vitesse, avec laquelle elle se portera vers F ; mais la boule A', sollicitée par une certaine vitesse suivant CA', se portera dans la direction A'E.

Ces effets, comme ceux du n.° 243, se présentent continuellement au jeu de billard ; mais ils sont accompagnés de diverses circonstances qui tiennent au frottement des billes l'une sur l'autre ou sur le tapis. Ainsi il arrive souvent que la bille choquante, restant à-peu-près à la place de la bille choquée, se trouve animée d'un mouvement rapide

de rotation autour d'un axe perpendiculaire au plan de billard ; ce qui vient de ce que les centres des deux billes ne s'étant pas trouvés exactement sur la direction du mouvement, les deux corps ont glissé avec frottement l'un sur l'autre au moment du choc. Il arrive aussi quelquefois que la bille choquante roule après le choc sur le plan du billard, en tournant sur un axe horizontal ; cet effet est dû au frottement de cette bille sur le drap.

Ces deux effets peuvent tenir aussi quelquefois à ce que le joueur n'a pas pris sa bille en plein.

Si la boule B a une masse double de A', la première se portera vers F avec les $\frac{2}{3}$ de la vitesse que A' possède suivant D A', et la seconde reviendra sur ses pas avec $\frac{1}{3}$ de sa vitesse primitive ; cette vitesse, combinée avec celle qui a lieu suivant C A', fera parcourir au corps A' une certaine diagonale A' G.

ARTICLE IV.

Choc des corps de forme quelconque.

*(253) *Supposons d'abord que la normale, au point de contact des deux corps, passe par les deux centres d'inertie, comme fig.* 71, et que cette ligne soit la direction du mouvement ; il est évident que tout ce que nous avons dit relativement aux corps sphériques, soit ductiles, soit élastiques, s'appliquera de point en point au cas présent.

La normale aux points de contact passant toujours par les centres d'inertie, si le mouvement n'est pas dirigé suivant cette ligne, il faudra décomposer la vitesse du corps choquant en deux, l'une suivant la normale, l'autre perpendiculaire à sa direction ; on déterminera ensuite les circonstances du mouvement après le choc, comme ci-dessus.

Si la normale aux points de contact passe seulement par le centre d'inertie d'un des corps, du corps A, par exemple, *fig.* 72, sans passer par le centre du corps B, ce dernier acquerra à-la-fois un mouvement de translation et un mouvement de rotation ; mais le corps A ne prendra aucun

mouvement de rotation; et s'il en possédait primitivement un, il ne sera pas changé par le choc. Si le corps B possédait d'avance un mouvement de rotation, ce mouvement serait altéré par le choc; mais il pourrait, dans quelques cas, ne l'être que dans sa vitesse.

Si la normale ne passe par le centre d'inertie d'aucun des deux corps, comme *fig.* 73, ces corps, par leur choc mutuel, acquerront chacun un mouvement de rotation.

ARTICLE V.

Choc simultané d'un certain nombre de corps sphériques homogènes.

(254) Supposons une série de sphères élastiques égales, dont les centres soient rangés sur le même arc de cercle, *fig.* 74. Si on élève la boule *a* à un certain nombre de degrés, et qu'on la laisse tomber, on verra la dernière bille *b* décrire en avant un arc de cercle égal à celui que la bille *a* a parcouru en descendant, et celle-ci, ainsi que toutes celles intermédiaires, resteront en repos. Cet effet tient à ce que les billes ne sont pas en contact immédiat. La seconde bille s'empare de toute la vitesse de la bille *a* qui se trouve réduite au repos; elle va ensuite frapper la troisième qui, à son tour, s'empare de toute sa vitesse; la troisième bille communique tout son mouvement à la quatrième, et ainsi de suite jusqu'à la dernière qui, ne trouvant aucun obstacle, se porte en avant. Le mouvement se propage ainsi successivement d'une des billes à l'autre, en quelque nombre qu'elles soient. Le temps employé à cette communication de mouvement est inappréciable, tant qu'il n'a que quelques billes; mais il deviendrait appréciable si le nombre de billes était assez considérable.

Si l'on élève deux billes à-la fois à l'extrémité *a*, on verra également, après le choc, deux billes s'écarter des autres à l'extrémité *b*.

ARTICLE VI.

Remarque sur le choc des corps.

(255) Pour ne pas interrompre la suite des expériences, nous nous sommes abstenus de citer quelques résultats de calcul, qu'il est cependant bon de connaître.

On démontre dans les ouvrages de mécanique que, lorsqu'un nombre quelconque de corps, soit ductiles, soit élastiques, viennent à se choquer d'une manière quelconque, la vitesse de leur centre commun de gravité est la même avant et après le choc. Ce résultat, qu'on démontre pour un système de corps quelconque, est connu en mécanique sous le nom de *principe de la conservation du mouvement du centre de gravité.*

Dans toutes les questions de dynamique où l'on veut évaluer les effets que différens corps en mouvement exercent les uns sur les autres, on trouve dans les calculs l'expression mv, la masse multipliée par le carré de la vitesse. Cette expression, qui a de l'analogie avec celle mv, qu'on nomme quantité de mouvement, et par laquelle on mesure la force qui sollicite un corps (66), a été nommée *force vive.*

On démontre que, lorsque des corps ductiles ou imparfaitement élastiques viennent à se choquer, ou plus généralement, lorsque le mouvement d'un système quelconque de corps éprouve un changement brusque, il y a toujours *diminution dans la somme des forces vives.*

Au contraire, dans le cas des corps parfaitement élastiques, on démontre que la somme des forces vives n'éprouve aucun changement, c'est-à-dire, qu'elle est constamment la même avant et après le choc. Ce grand théorème de mécanique est connu sous le nom de *principe de la conservation des forces vives.*

Pour qu'une machine puisse entretenir constamment et uniformément le mouvement d'un système, il faudrait

qu'on pût éviter toute perte de forces vives ; pour cela ,il faudrait éviter les chocs entre des corps qui ne sont pas parfaitement élastiques, ou qui ne se compriment pas instantanément; il faudrait de plus rendre nuls les frottemens et la résistance des milieux ; ce qui est impossible dans la pratique.

C'est précisément en partant du principe de la conservation des forces vives dans le choc des corps élastiques, que l'on peut être induit dans des erreurs très-graves, si on ne fait pas attention à la différence que présentent les corps qui se compriment instantanément, et ceux qui se compriment lentement.

CHAPITRE XIV.

Du frottement.

(256) Les surfaces des corps sont hérissées d'aspérités irrégulières plus ou moins élevées, et les surfaces les mieux polies n'en sont pas entièrement exemptes.

Lorsque deux corps sont appliqués l'un sur l'autre et se pressent mutuellement, il y a toujours quelques aspérités de l'un qui s'engagent dans les cavités de l'autre; il résulte de là une certaine résistance au mouvement que l'on désigne par le nom de frottement.

Exemples et avantages du frottement. — Nous avons continuellement sous les yeux des exemples de l'influence des frottemens. Sans cette espèce de résistance, notre marche et celle des animaux serait très-difficile et peu stable. On sait combien il est difficile de marcher sur la glace et dans des appartemens bien frottés, de monter ou de descendre une colline couverte de gazon fin et sec, etc. C'est le frottement qui facilite l'usage des divers instrumens dont nous nous servons habituellement, et qui s'échapperaient de nos mains par le moindre effort, si cette résistance devenait nulle.

Il existe des machines, destinées à tenir des forces en équilibre, dans lesquelles on a tiré un parti très-avantageux du frottement; dans d'autres machines, on a tiré parti du frottement pour remplacer les engrenages; enfin on a su profiter du frottement pour user les corps les uns par les autres, et leur donner, par ce moyen, les formes qu'on peut desirer. C'est ainsi qu'on emploie les limes, les scies, pour façonner les bois, les pierres, les métaux; c'est ainsi qu'on emploie des pierres de diverses natures, des pous-

sières de diverses espèces, pour dégrossir, adoucir et donner le poli aux métaux et autres substances. Si les objets dont nous nous servons habituellement s'usent, c'est en partie dans les divers genres de frottement qu'ils éprouvent qu'on en doit chercher la cause. Des corps même très-durs ne résistent pas à un long usage. C'est ainsi que les marches des escaliers fréquentés, des trottoirs, etc., soit en pierres ordinaires à bâtir, soit en marbre, ou même en granit, sont usées et creusées assez profondément par le frottement habituel des pieds; c'est ainsi que les diverses parties des machines s'usent par leur frottement les unes contre les autres.

(269) *Inconvéniens des frottemens.* — Si, dans certaines circonstances, on peut tirer quelques avantages du frottement, il en est d'autres où cette espèce de résistance est un inconvénient réel; cela a lieu toutes les fois qu'on a pour but de mouvoir un corps, parce que le frottement détruit une partie de la force employée. Aussi, dans toutes les machines destinées à entretenir ou transmettre le mouvement, cherche-t-on à atténuer les frottemens autant que possible.

(368) On distingue *deux espèces de frottement.* On nomme *frottement de la première espèce*, celui qui se manifeste lorsqu'un corps est obligé de glisser sur un autre, en lui présentant toujours les mêmes points. Si c'est un corps dur qui glisse sur un autre plus tendre, les aspérités du premier déchirent la surface du second; si les corps sont à-peu-près de même dureté, il faut ou que les aspérités se brisent par leur choc mutuel, ou que le corps mobile fasse de petits sauts successifs pour faire passer les aspérités les unes sur les autres.

On nomme *frottement de la seconde espèce*, celui qui a lieu lorsqu'un corps roule sur un plan en lui présentant successivement les différens points de sa surface. Cette espèce de frottement est beaucoup moins considérable que l'autre, parce que le mouvement de rotation contribue à

dégager les aspérités qui se désangrènent, en quelque sorte, comme les dents de deux roues qui rouleraient l'une sur l'autre.

(259) *Exemple des deux espèces de frottement.* Il existe dans les cabinets de physique des machines propres à démontrer que le frottement de la première espèce oppose plus d'obstacle au mouvement, que celui de la seconde; mais il existe assez d'exemples sous nos yeux pour qu'il soit inutile de faire directement des expériences à ce sujet.

On sait, par exemple, que pour transporter un bloc de marbre, on place dessous des rouleaux de bois, et qu'alors il est infiniment plus facile de le mouvoir, que s'il reposait simplement par toute sa base sur le terrein. On échange, par ce moyen, le frottement de la première espèce en frottement de la seconde. On sait que les meubles qui sont portés sur des roulettes peuvent être mus avec plus de facilité que ceux qui reposent simplement sur leurs pieds.

Tout le monde sait qu'en descendant une montagne, on *enraie* les roues des voitures, c'est-à-dire, que, d'une manière ou d'une autre, on les empêche de tourner sur leurs axes. On échange, par ce moyen, le frottement de la seconde espèce en frottement de la première, et on ralentit ainsi beaucoup la vitesse, qui deviendrait très-considérable et mettrait la voiture en danger d'être précipitée (*).

(260) *Estimation des frottemens.* S'il est essentiel d'avoir égard aux frottemens lorsqu'on veut appliquer à la pratique les lois de l'équilibre et du mouvement, il faut savoir éva-

(*) On parvient au même but, en exerçant un frottement sur les roues elles-mêmes, pour ralentir leur mouvement de rotation, au moyen d'une plaque de fer épaisse que l'on appuie plus ou moins contre elles. Ce moyen est pratiqué presque partout aujourd'hui.

luer les effets que peut produire cette résistance ; et c'est l'expérience seule qui peut nous éclairer à ce sujet.

On sait (94) qu'un corps pesant, placé sur un plan incliné, ne peut s'y tenir en équilibre ; s'il arrive donc que cet équilibre ait lieu, il en faudra conclure que le frottement s'oppose à l'action de la composante parallèle qui sollicite le corps à descendre. Plus le frottement sera considérable, plus le plan pourra être incliné sans que l'équilibre soit rompu ; de sorte que l'on peut juger du frottement par l'angle d'inclinaison du plan, à l'instant où cet équilibre commence à se rompre; instant qu'il faut chercher à saisir aussi exactement que possible. On démontre très-facilement que le frottement est égal à la tangente de l'angle d'inclinaison du plan ; soit donc x cet angle, et soit F le frottement, on a $F = \text{tang.}\, x$. L'angle x prend le nom *d'angle du frottement*.

En procédant de cette manière, on reconnaît, 1.º que mieux les surfaces sont polies, moins l'angle de frottement est grand ; donc le frottement est d'autant moins considérable, que les surfaces de contact sont mieux polies. C'est pour cela que les artistes ont toujours soin de polir les différentes pièces qui, dans les machines, doivent éprouver du frottement. Les différens degrés de dureté des corps, l'état d'agrégation de leurs particules, influent beaucoup sur le degré de perfection du poli; de sorte que ces différentes causes influent beaucoup aussi sur l'intensité du frottement. Dans les montres qui sont faites avec beaucoup de soin, comme les *gardes-temps*, les pivots d'acier roulent sur des chapes de rubis, parce que ces deux corps étant susceptibles d'un poli très-vif, il en résulte moins de frottement, et aussi parce que le rubis étant très-dur, le petit trou qui reçoit le pivot ne se déforme pas.

2.º On reconnaît, par expérience, qu'à égalité sensible de poli, l'angle de frottement varie beaucoup suivant la nature des corps en contact, et qu'en général, deux corps de nature différente éprouvent moins de frottement en glissant l'un

sur l'autre, que deux corps de même nature; c'est pourquoi on fait ordinairement rouler les essieux des voitures dans des boîtes de cuivre.

3.° Que l'angle de frottement est indépendant du poids du corps; c'est-à-dire, qu'à égalité de surfaces frottantes, un corps de 10 kilog. se maintient en équilibre sur un plan incliné, aussi bien qu'un corps de 1 kilog.; d'où il faut conclure que le frottement augmente proportionnellement à la pression des surfaces frottantes l'une sur l'autre.

4.° Que, pour un corps déterminé, le poids étant constant, l'angle de frottement ne varie pas sensiblement, quoiqu'on fasse varier l'étendue de la surface frottante.

5.° Qu'en frottant le plan avec du savon, de la plombagine, ou l'enduisant d'une couche d'huile, de graisse, etc., on diminue considérablement le frottement; c'est d'ailleurs ce que démontre l'expérience journalière. On trouve aussi que la nature de l'enduit influe beaucoup sur les résultats: tel enduit qui diminue le frottement entre tel et tel corps, ne le diminue pas, ou quelque fois même l'augmente, entre tel ou tel autre. C'est tantôt une action chimique qui produit ce dernier effet, tantôt une action purement mécanique. Lorsque les corps sont tendres, il se forme promptement une boue épaisse qui bientôt s'oppose efficacement au mouvement; c'est, d'ailleurs, ce qui arrive entre tous les corps avec le temps.

Il paraît que l'effet de quelques enduits, comme le savon, la plombagine, est de remplir les petites inégalités; mais à l'égard des huiles, des graisses, il paraît qu'en outre, à cause de la facilité avec laquelle les particules de ces substances se déplacent, on change en quelque sorte le frottement de la première espèce en frottement de la seconde.

CHAPITRE XV.

Mouvemens vibratoires des corps solides, ou premier principe d'acoustique.

ARTICLE PREMIER.

Considérations générales.

(261) Lorsqu'une tringle de matière élastique rigide A B, *fig.* 75, fixée par une de ses extrémités, est écartée instantanément, par une cause quelconque, de la position où elle se tient en équilibre, on la voit se mouvoir rapidement à la manière d'un pendule, en oscillant de part et d'autre de sa position fixe; il en est de même dans une corde tendue par ses extrémités, *fig.* 76, qui, après avoir été écartée de sa position d'équilibre, se meut rapidement entre les points C et D. Ces sortes de mouvemens prennent le nom de *vibrations*, lorsqu'ils sont très-rapides.

(262) *Son produit par certains corps vibrans.* — L'expérience démontre que quand un corps élastique, du genre de ceux dont les changemens de forme se font instantanément, fait des vibrations régulières d'une certaine vitesse, il se produit un son qui est d'autant plus fort, que les vitesses sont plus grandes ; c'est en quoi les mouvemens vibratoires sont particulièrement remarquables. Réciproquement, toutes les fois qu'un corps rend un son, ses particules possèdent un mouvement de vibration plus ou moins rapide; c'est ce qui est visible dans une corde de violon ou de clavecin, que l'on a pincée pour la faire résonner. Si l'œil ne peut saisir ces vibrations dans une cloche de verre, par exemple, que l'on a frappée pour lui faire rendre un son,

instrumens, ont entr'eux des rapports bien suivis, s'ils se suivent trop précipitamment, l'oreille ne peut plus les distinguer et n'entend qu'un mélange confus qu'elle qualifie de bruit. Il arrive souvent que dans un concert on n'entend que du bruit lorsqu'on se trouve trop près de l'orchestre, tandis qu'à une certaine distance, l'oreille saisit distinctement les sons et se trouve affectée d'une manière agréable.

(264) L'intensité du son dépend de l'étendue du corps sonore, de l'amplitude de ses vibrations et du nombre des corps qui vibrent ensemble. On peut remarquer l'influence de l'amplitude des vibrations dans une corde que l'on pince et qu'on abandonne ensuite à elle-même ; car au premier moment on voit cette corde faire de grandes vibrations, et c'est alors que le son est plus intense ; il diminue ensuite successivement d'intensité, à mesure que les amplitudes des vibrations deviennent successivement plus petites.

Lorsqu'un corps mis en vibration peut faire vibrer à l'unisson les corps avec lesquels il est en contact, l'intensité du son est augmentée proportionnellement. Par exemple, en tenant à la main un diapason que l'on a fait vibrer, à peine observe-t-on un son appréciable ; il en est de même si on le place sur un corps mou : mais si on le pose sur un corps sonore capable de vibrer avec lui, l'intensité du son devient très-grande. Une corde d'instrument qui est simplement tendue en plein air, ne rend pas un son très-intense ; mais il en est autrement lorsqu'elle est tendue sur une caisse sonore, comme sur un violon, sur un clavecin, etc., dont les parois vibrent en même temps.

On peut aussi juger l'intensité d'un son plus ou moins grande, suivant que le silence est plus ou moins profond. Tout le monde a pu remarquer que, pendant la nuit, les bruits divers qui se font entendre par intervalle dans les rues de Paris, sont bien plus intenses que dans le jour.

(265) *Diverses sortes de vibrations.* — Nous distinguerons *les vibrations transversales, les vibrations longitudinales et les vibrations tournantes.* Les premières ont

lieu lorsqu'on passe un archet perpendiculairement à la longueur du corps; les secondes se manifestent lorsqu'on frotte le corps suivant sa longueur. Il n'est personne qui ne se soit amusé dans sa jeunesse à frotter un crin sur sa longueur, en tenant une des extrémités entre les dents : c'est un exemple bien vulgaire de vibrations longitudinales; le son qu'on obtient est extrêmement aigu.

Les vibrations tournantes ont lieu lorsqu'on frotte, en tournant, une verge rigide.

ARTICLE II.

Vibration des cordes.

(A) *Vibration transversale des cordes tendues.*

(266) *Résultats des considérations géométriques.* — Le problème des cordes vibrantes a exercé la sagacité des plus grands géomètres. Euler, Lagrange, d'Alembert, Daniel Bernoulli, s'en sont occupés à diverses reprises. Ce problème consiste à déterminer en un instant quelconque la forme et le mouvement de la corde.

On démontre par l'analyse,

1.º Que dans les cordes de même diamètre et également tendues, les nombres de vibrations en un temps donné sont en raison inverse des longueurs;

2.º Que sous la même longueur et la même tension, les nombres de vibrations sont en raison inverse des diamètres ;

3.º Enfin, que sous le même diamètre et la même longueur, les nombres de vibrations sont en raison directe des carrés des poids qui tendent ces cordes.

(267) *On démontre par expérience* que, dans le premier cas, les sons se trouvent en raison inverse des longueurs;

Que dans le second cas, les sons se trouvent en raison inverse des diamètres ;

Que, dans le troisième cas, ils sont en raison directe des carrés des poids soustendaus;

Il résulte de ces expériences que les hauteurs des sons sont constamment comme les nombres de vibrations, et par conséquent, que cette partie de la physique peut être traitée tout entière par l'analyse.

On doit remarquer que sur un violon les cordes sont de différens diamètres; et qu'en outre, en appliquant les doigts plus ou moins près du chevalet, on raccourcit plus ou moins ces cordes: on fait varier, par ces moyens, les différens sons sur cet instrument.

Pour faire les expériences que nous venons de citer, on se sert d'un instrument nommé *sonomètre;* c'est une sorte de banc, *fig.* 77, sur lequel on dispose plusieurs cordes auxquelles on donne des longueurs convenables, et que l'on tend par des poids. On trouve ainsi qu'une corde dont la longueur n'est que la moitié d'une autre, rend un son d'une hauteur double, et qu'il en est de même à l'égard des diamètres; qu'enfin la corde qui est tendue par un poids 2, rend un son dont la hauteur est à celle du son que rend une corde de même longueur tendue par un poids 1, comme 4 est à 1.

(268) *Nœuds de vibrations.*— Une corde peut vibrer entière, ou partagée en un certain nombre de parties, séparées entr'elles par des points où les vibrations sont nulles; ces points prennent le nom de *nœuds de vibrations.*

Après avoir attaché une corde sur le sonomètre qu'on place, dessous et au milieu un petit chevalet mobile, comme pour la soutenir et qui la presse légèrement, *fig.* 78; qu'à côté de cette corde on en place une autre qui n'ait que la moitié de sa longueur. En passant un archet sur chacune d'elles, on reconnaîtra qu'elles donnent absolument le même son; ce qui tient à ce que la grande corde est partagée au milieu en deux parties, dont chacune fait ses vibrations comme si elle était seule et fixée à ses deux extrémi-

tés : ces deux parties donnent deux sons à l'*unisson*, dont on ne distingue pas l'ensemble.

Si au lieu de placer le chevalet mobile au milieu de la corde, on le place au tiers, au quart, etc., on reconnaîtra que le son produit est précisément le même que celui que rend une corde dont la longueur est le tiers, le quart, etc., de la précédente. Cette circonstance tient à ce que la corde se partage en trois, quatre, etc., parties séparées entr'elles par des nœuds de vibrations, *fig.* 79 et 80, et qui rendent chacune le même son que si elles étaient fixées en ces points.

L'analyse indique aussi ces nœuds de vibrations. Pour prouver leur existence par une expérience directe, qu'on place sur la corde, au-dessus des nœuds de vibrations A, B, C, des petits chevalets de papier blanc ; qu'on place au-dessus des *ventres de vibrations* d'autres petits chevalets de papier coloré : en passant un archet sur la corde, on verra ces derniers tomber aussitôt, tandis que les autres resteront en place.

Les différens sons qu'on obtient d'une même corde pour 0, 1, 2, 3, etc., nœuds de vibrations, sont entr'eux comme les nombres 1, 2, 3, 4, etc.

(269) *Tous les mouvemens de vibrations ne produisent pas des sons.*—Pour que l'oreille puisse apprécier un son, il faut que le corps sonore fasse au moins de 30 à 36 vibrations par seconde. Pour le prouver, il faudrait prendre une corde assez longue pour qu'elle pût faire en une seconde un nombre de vibrations qu'on pût compter, 4, par exemple ; en la racourcissant ensuite de moitié, elle ferait 8 vibrations, d'après ce théorème que les nombres de vibrations sont en raison inverse des longueurs ; en la réduisant au quart, au huitième, etc., elle ferait en une seconde, 16, 32 vibrations ; et ce n'est qu'à ce dernier terme qu'on entendrait un son distinct : c'est le plus sourd de ceux que l'oreille puisse apprécier. Cette expérience

réussit fort mal ; mais nous en donnerons bientôt une qui est beaucoup plus facile (271).

Il y a aussi une limite pour les sons supérieurs, passé laquelle l'oreille ne peut plus rien entendre. L'exemple du crin frotté longitudinalement peut donner une idée de ces sons aigus que l'oreille ne peut distinguer ; il paraît que, pour des nombres de vibrations de 12000 à 16000 par secondes, les sons deviennent si aigus que l'oreille ne peut les apprécier.

(B) *Vibrations longitudinales des cordes.*

(270) Il faut concevoir, dans ces sortes de vibrations, que le corps ou ses particules se contractent et se dilatent alternativement dans le sens de l'axe.

Il paraît, d'après les diverses expériences, que l'intensité du son ne dépend ici ni de la tension, ni du diamètre du corps sonore, mais seulement de sa longueur et de l'espèce de matière qui le compose. Les sons sont entr'eux en raison inverse des longueurs, lorsque les cordes sont de même nature. Il faut, en général, se servir de cordes très-longues, parce que les sons que produisent ces sortes de vibrations sont extrêmement aigus ; ils diffèrent entièrement de ceux qu'on obtient par les vibrations transversales.

Il paraît aussi qu'il peut se former, dans ce cas, des nœuds de vibrations : on ne peut les rendre visibles à l'œil ; mais on remarque qu'en faisant vibrer le corps entier, ou en le touchant en un point, de manière à produire 1, 2, 3, etc., nœuds de vibrations, les sons qu'on obtient sont aussi comme les nombres 1, 2, 3, 4, etc.

Article III.

Vibrations des verges sonores.

(A.) *Vibrations transversales.*

(271) *Loi de ces vibrations.* — L'expérience démontre

qu'en faisant vibrer des corps rigides de différentes longueurs, comme des verges de fer ou de laiton, de 1 à 2 mill. d'épaisseur sur 8 à 10 de largeur, fixées par une extrémité dans un étau, les sons qu'on obtient sont en raison inverse des carrés des longueurs. D'où il faut conclure que les nombres de vibrations qui les produisent suivent entr'eux cette même loi.

C'est au moyen des verges rigides, qu'on peut démontrer facilement qu'il faut au moins de 30 à 36 vibrations par seconde, pour que l'oreille puisse apprécier un son. On prend pour cela une verge fixée par une extrémité dans un étau, et dont la longueur est assez considérable pour qu'on puisse compter le nombre des vibrations qui se font dans une seconde. Supposons que ce nombre soit 4; en raccourcissant la verge de moitié, et faisant la proportion $4 : N :: \frac{1}{4} : 1$, on trouve que, dans ce cas, le nombre N de vibration est 16. Ces vibrations sont trop rapides pour que l'œil puisse les compter; mais l'oreille ne les reçoit pas encore, ou plutôt on n'entend qu'un bourdonnement lorsqu'on est très-près. Si on réduit la verge au tiers de sa longueur, le nombre des vibrations en une seconde devient 36; c'est alors que l'oreille distingue un son.

(272) *Nœuds de vibrations.*—Les verges rigides peuvent aussi vibrer entières ou partagées par des nœuds de vibrations. Qu'on prenne, par exemple, une verge fixée par une extrémité dans un étau, *fig.* 81; qu'on place un petit chevalet en B à une distance de l'extrémité libre d'environ $\frac{1}{3}$ de la longueur totale de la verge; qu'on saupoudre toute la face supérieure de sable fin, et qu'on fasse vibrer ce corps au moyen d'un archet; on verra, à l'instant, le sable se rassembler en A et B; ce qui indique que ces points n'ont aucun mouvement, et sont par conséquent des nœuds de vibrations.

Dans beaucoup de cas, la distance entre deux nœuds de vibration, ou entre un nœud et un point fixe, est double de la distance de l'extrémité libre au premier nœud.

Au moyen de cette remarque, on pourra, par tâtonnement, produire autant de nœuds de vibrations que l'on voudra.

(273) *La hauteur des sons augmente avec le nombre des nœuds de vibrations ;* mais il est facile de prévoir que la série des sons produits par 0, 1, 2, 3, etc., nœuds de vibrations, n'est pas la même que dans les cordes vibrantes.

a. Lorsque la verge est appuyée par les deux extrémités contre des obstacles qui la pressent légèrement, elle peut vibrer entière ou partagée par des nœuds de vibrations, comme les cordes, mais les sons qu'elle produit ne suivent pas la série des nombres 1, 2, 3, 4, etc., comme dans les cordes ; ils suivent la série des nombres 1, 4, 9, 16, etc., carrés des premiers.

b. Lorsque la verge est fixée solidement par les deux extrémités, il paraît que les vibrations sont gênées vers les extrémités fixes, et les sons, au lieu de suivre la loi précédente, suivent celle des nombres 9, 25, 49, 81, etc. ; c'est aussi la manière de vibrer des verges entièrement libres.

c. En général, les sons qu'on peut obtenir d'une verge sonore par 0, 1, 2, 3, etc., nœuds de vibrations, varient suivant que,

1.° L'un des bouts est fixé (dans un étau), l'autre libre ;

2.° L'un des bouts est appuyé (contre un corps mobile), l'autre libre ;

3.° Les deux bouts sont libres ;

4.° Les deux bouts sont appuyés ;

5.° Les deux bouts sont fixés ;

6.° L'un des bouts est fixé, l'autre appuyé.

Dans les 1.er, 4.e, 5.e et 6.e cas, la verge peut vibrer entière, comme *fig.* 75 et 82, ou partagée par un ou plusieurs nœuds de vibrations.

Dans le 2.e cas, il y a toujours au moins un nœud de vibration, parce qu'il faut bien soutenir la verge à l'extré-

mité libre ; il y aura plusieurs nœuds, si le point de suspension est placé partout ailleurs qu'au tiers de la longueur vers l'extrémité libre.

Dans le 3.e cas, il y a au moins deux nœuds de vibrations, *fig.* 83, parce qu'il faut au moins deux points pour soutenir la verge : il y aura plusieurs nœuds, si les points de suspension sont placés ailleurs qu'à ½ de la longueur vers les extrémités libres.

Voyez l'Acoustique de Chladni.

(274) *Verges courbes.*—A mesure qu'on courbe une verge droite, les nœuds de vibrations se rapprochent, *fig.* 84, et en même temps les sons deviennent plus graves pour le même nombre de nœuds ; les figures 85 et 86 donneront des idées sur les vibrations de ces sortes de verges.

(275) *Un anneau* peut vibrer aussi, en se partageant en 4, 6, etc., nœuds de vibrations, il produit différens sons.

(B) *Vibrations longitudinales des verges sonores.*

(276) Les verges étant de même matière, l'expérience prouve que les sons sont entr'eux en raison inverse des longueurs.

a. Les verges peuvent vibrer entières ou partagées par des nœuds de vibrations. La distance entre deux nœuds de vibrations, ou entre un nœud et une partie fixe, est toujours double de la distance d'une extrémité libre au premier nœud. D'après cela, une verge qui est partagée par 1, 2, etc., nœuds de vibrations, vibre comme une verge qui aurait le tiers, le cinquième, etc., de la longueur totale de celle qui est en expérience, et qui vibrerait entière. Ici la fixité des extrémités ne gêne en aucune manière les vibrations.

b. Une verge libre par une extrémité et fixée par l'autre, peut vibrer entière ou partagée par des nœuds de vibra-

tions; les sons produits par 0, 1, 2, 3, etc., nœuds, sont entr'eux comme les nombres 1, 3, 5, 7, etc.

c. Dans une verge libre, il se formera au moins un nœud de vibration au milieu, où il faut alors la tenir; si on la tient à tout autre endroit, il se formera plusieurs nœuds. Les sons produits par 1, 2, 3, 4, etc., nœuds, comparés à ceux de la verge fixée par un bout, sont comme les nombres 2, 4, 6, 8, etc. C'est aussi la manière de vibrer des verges fixées à leurs deux extrémités.

ARTICLE IV.

Vibrations des plaques et des membranes tendues.

(277) Quoique M. Chladni ait fait un grand nombre d'expériences sur les plaques et les membranes vibrantes, on ne connaît pas la loi de leurs vibrations.

Les plaques présentent des phénomènes singuliers dans la position de leurs nœuds de vibrations. On peut se servir, pour les expériences à ce sujet, de plaques de verre de diverses formes, saupoudrées de sable fin, et qu'on tient fixement entre les doigts, ou qu'on fixe au moyen du petit instrument, *fig.* 87, adapté par un de ses côtés à une table. On prendra quelques idées sur la position des nœuds de vibrations, en consultant les figures 88, 89, 90, 91, 92; on en trouvera un grand nombre d'autres dans le traité d'Acoustique de Chladni.

Dans la figure 88, la plaque est fixée à son centre; on la met en mouvement en passant un archet auprès d'un angle, et on voit à l'instant le sable se rassembler sur des lignes croisées. Cette espèce de vibration donne le son le plus grave qu'on puisse obtenir d'une plaque carrée. En appliquant l'archet à un côté, on ramenera les lignes nodales sur les diagonales, *fig.* 89.

Si, tenant la plaque, *fig.* 89, par le milieu, on touche le point *a*, et qu'on passe l'archet au point *b*, on produira les lignes nodales, *fig.* 90.

En se servant d'une plaque ronde, *fig.* 91, fixée à son centre, touchant un point *a* et passant l'archet en *b* à 90^{d}, on produit les lignes nodales que représente la figure.

En serrant la plaque en *a* près du bord, et appliquant l'archet en *b* à 90^{d}, on produit la figure 92. On peut produire un simple cercle en appliquant l'archet très-près de l'endroit d'attouchement; on fera couper ce cercle par autant de lignes diamétrales qu'on voudra, en passant l'archet plus ou moins près du point d'attouchement.

Au reste, lorsqu'on aura pris un peu d'habitude, on pourra produire, avec les plaques, une multitude de figures nodales diverses, en faisant varier la position des points fixes, celle des points d'attouchement et des points d'application de l'archet.

ARTICLE V.

Vibrations communiquées dans les corps solides.

(278) *Comment se fait cette communication.* — Les vibrations des corps sonores se communiquent à toutes les matières qui peuvent être en contact avec ces corps, soit elles-mêmes, soit par l'intermède d'une autre matière. Les choses se passent comme dans la communication du mouvement dans une série de billes élastiques (254), et le son parvient en un point quelconque du corps, en un temps plus ou moins long.

Lorsque le corps sonore fait une vibration en avant, il pousse et comprime devant lui les molécules contigues du corps avec lequel il est en contact : ces particules compriment celles qui sont derrière, leur communiquent tout leur mouvement, et sont réduites au repos; celles-ci communiquent le mouvement aux suivantes, et sont de même réduites au repos, et ainsi de suite; de manière que le son se propage dans toute l'étendue du corps solide, et que lorsqu'il arrive en un point quelconque, toutes les

parties qu'il a successivement parcourues sont en repos, à moins que le corps n'ait recommencé une vibration. Dans ce cas, les nouveaux sons se propagent de la même manière et suivent le premier. Les successions se font aussi rapidement que les vibrations du corps sonore ; mais, alors on conçoit qu'il existe, dans le corps conducteur, des couches condensées qui alternent avec des couches dilatées ; c'est cette disposition qu'on nomme *ondulations sonores.*

Si le corps auquel les vibrations sont communiquées est indéfini dans tous les sens, le son se trouve transporté tout autour du corps sonore par des ondes circulaires, dans une sphère dont le rayon est plus ou moins considérable.

En appliquant l'oreille, ou un point de la tête, sur un corps solide, à telle ou telle distance d'un corps sonore qui lui communique ses vibrations, on entend le son d'une manière très-énergique ; on peut remarquer tout de suite que le son est entendu beaucoup plus promptement et avec beaucoup plus de force par l'intermède d'un corps solide que par l'air. Pour s'en convaincre, on peut, par exemple, se placer (de grand matin, pour avoir du calme) à une extrémité d'un des ponts de fer de Paris, et tandis qu'une personne frappe à l'autre extrémité sur la grille du parapet, appuyer l'oreille contre les barres de fer ; alors on recevra deux sons à une certaine distance l'un de l'autre, le premier, beaucoup plus fort, par le métal, le second par l'air.

(279) *L'intensité et la vitesse* avec lesquelles les sons se propagent par des corps solides, dépendent de la nature et de la structure intérieure de ces corps. Ceux qui possèdent l'élasticité de la première espèce conduisent le son très-promptement et très-loin ; ceux, au contraire, qui ne possèdent que l'élasticité de la seconde espèce, le conduisent à peine à quelques décimètres : par exemple, si on interpose un matelas entre le corps sonore et l'oreille, on n'entendra rien.

Les solides formés de fibres droites parallèles, propagent assez bien le son suivant la longueur des fibres, et

très-mal dans le sens transversal ; par exemple, si quelqu'un gratte avec une épingle à l'extrémité d'une longue poutre de bois, une personne, dont l'oreille est placée à l'autre extrémité, entend très-bien le bruit; au contraire, dans le sens transversal, à peine entend-on le bruit à quelques décimètres.

La faculté qu'a un corps de transmettre le son, peut être mesurée par la distance à laquelle il est entendu; mais ces distances sont souvent trop considérables pour qu'il soit possible de faire des expériences comparatives ; tout ce qu'on peut savoir, c'est que les corps solides les plus homogènes, les plus élastiques, sont ceux qui conduisent le son le plus facilement.

(280) *Mesure de la vitesse du son.* — M. Biot, par des expériences faites dans les tuyaux de conduite d'eau de Paris, a trouvé que la vitesse du son transmis par la fonte, était environ 10 fois ½ celle du son transmis par l'air.

M. Chladni, en comparant le ton que rend une verge qu'on fait vibrer longitudinalement, à celui d'une colonne d'air qui vibre dans un tuyau de même longueur, a trouvé que la vitesse du son dans l'air, étant représentée par 1, la vitesse du son transmis par l'étain serait 7 ½;

Par l'argent 9;
Par le cuivre. 12;
Par le fer. 17;
Par les différentes espèces de bois. . . 11 à 17;

Nous verrons que la vitesse du son dans l'air est d'environ 337 mètres par seconde; d'après cela, il est facile de trouver la vitesse du son transmis par les matières que nous venons de citer; on trouvera, d'après l'expérience de M. Biot, que la vitesse du son, par la fonte, est d'environ 3538 mètres par seconde.

(281) Toutes les espèces de vibrations, dont un corps sonore est susceptible, peuvent exister à-la-fois dans ce corps, sans se gêner mutuellement; en sorte que le même corps peut propager en même temps tous les sons, soit graves, soit aigus. L'idée de cette coexistence de plusieurs

espèces de vibrations est due à Daniel Bernoulli ; elle est constatée par l'expérience journalière. On sait, effectivement, que tous les sons, tous les bruits divers, se propagent à-la-fois par la même masse d'air, de même que les divers mouvemens ondulatoires se propagent, sans s'altérer, à la surface de la même masse liquide.

ARTICLE VI.
De la comparaison des sons.

(282) Dans nos conceptions, les nuances des sons peuvent varier à l'infini, comme les nombres de vibrations qui les produisent ; mais l'oreille n'admet pas autant de variations : elle ne distingue les nuances qu'autant qu'il y a une distance considérable entre deux sons.

Lorsqu'on compare deux sons, on nomme *grave* celui dont le nombre de vibrations est moindre, et *aigu* celui dont le nombre de vibrations est plus grand.

On nomme *intervalle* le rapport d'un son à un autre, ou plutôt le rapport entre les nombres de vibrations qui produisent ces sons. Les intervalles prennent différens noms relativement au nombre de sons qui se trouvent entre ceux que l'on compare. L'intervalle se nomme *seconde, tierce, quarte, quinte, sixième, septième, octave*, lorsque les sons comparés se suivent immédiatement, ou lorsque l'oreille peut intercaler 1, 2, 3, 4, 5, 6 sons intermédiaires.

On nomme *accord* la coexistence de deux ou de plusieurs sons (*). Quand l'oreille peut découvrir aisément le rapport d'un son à un autre, leur accord est nommé *consonnance ;* lorsque l'oreille a peine à distinguer ce rapport, l'accord est nommé *dissonnance.*

Lorsque deux corps font dans le même temps le même nombre de vibrations, les sons qu'ils produisent sont abso-

(*) Une *mélodie* est une suite de sons.

Un *accord* est la coexistence de plusieurs sons.

L'*harmonie* est une suite d'accords, ou la coexistence de plusieurs mélodies.

lument les mêmes. On dit de ces sons qu'ils sont à l'*unisson*. C'est le plus simple des accords.

Lorsqu'un corps fait dans un temps donné un nombre de vibrations double de ce que fait un autre corps, *les sons rendus sont dits à l'octave l'un de l'autre*. L'octave est un accord très-naturel, à cause de la simplicité du rapport des nombres de vibrations; aussi, voyons-nous tout le monde passer aisément en chantant d'un son à un autre, qui est d'une octave plus grave ou plus aigu. Il n'en est pas de même pour deux sons dont le rapport est plus compliqué : il faut alors beaucoup d'habitude pour pouvoir les accorder promptement.

Deux sons à l'octave l'un de l'autre, ont tant de ressemblance, qu'on peut regarder l'un comme la répétition de l'autre; aussi, les musiciens les désignent-ils par les mêmes signes. On désigne les octaves successives d'un même son par les noms *octave*, *double octave*, *triple octave*, etc. Il résulte de cette ressemblance que l'intervalle d'un son à un autre ne change pas, si on prend un des sons qui le composent, une ou plusieurs octaves plus graves ou plus aigues; ce qui revient à prendre la moitié ou le double des nombres de vibrations. Cette conséquence mène à celle-ci, qu'on peut regarder tous les intervalles comme compris dans une octave.

(283) *Echelle musicale.* — On nomme échelle musicale la série des sons successifs renfermés dans une octave. On distingue en Europe trois échelles : la *diatonique*, composée de huit sons; la *chromatique*, composée de treize, et l'*enharmonique*, composée de vingt-quatre. Nous ne parlerons ici que de l'échelle diatonique.

Soit 1 le nombre de vibrations données par une corde d'une certaine longueur; si on divise successivement cette longueur de manière à produire la série de vibrations

$$1, \frac{9}{8}, \frac{5}{4}, \frac{4}{3}, \frac{3}{2}, \frac{5}{3}, \frac{15}{8}, 2,$$

la suite des tons représentera sensiblement l'échelle diatonique *ut*, *re*, *mi*, *fa*, *sol*, *la*, *si*, *ut*. En prenant les rapports entre ces différens nombres de vibrations, on

trouve, pour rapport, on intervalle de *ut* à *re* 8 à 9, de *re* à *mi* 9 à 10, *mi* à *fa* 15 à 16, *fa* à *sol* 8 à 9, *sol* à *la* 9 à 10, *la* à *si* 8 à 9, *si* à *ut* 15 à 16. Ce sont autant de secondes. On obtiendrait de même les tierces, les quartes, etc., comme on le voit dans le tableau suivant.

Secondes.	$\frac{fa}{la} = \frac{4}{5}$	$\frac{mi}{si} = \frac{2}{3}$
$\frac{ut}{re} = \frac{8}{9}$	$\frac{sol}{si} = \frac{4}{5}$	$\frac{fa}{ut} = \frac{2}{3}$
$\frac{re}{mi} = \frac{9}{10}$	$\frac{la}{ut} = \frac{5}{6}$	*Sixtes.*
$\frac{mi}{fa} = \frac{15}{16}$	*Quartes.*	$\frac{ut}{la} = \frac{3}{5}$
$\frac{fa}{sol} = \frac{8}{9}$	$\frac{ut}{fa} = \frac{3}{4}$	$\frac{re}{si} = \frac{3}{5}$
$\frac{sol}{la} = \frac{9}{10}$	$\frac{re}{sol} = \frac{3}{4}$	$\frac{mi}{ut} = \frac{5}{8}$
$\frac{la}{si} = \frac{8}{9}$	$\frac{mi}{la} = \frac{3}{4}$	*Septièmes.*
$\frac{si}{ut} = \frac{15}{16}$	$\frac{fa}{si} = \frac{32}{45}$	$\frac{re}{ut} = \frac{9}{16}$
Tierces.	$\frac{sol}{ut} = \frac{3}{4}$	$\frac{ut}{si} = \frac{8}{15}$
$\frac{ut}{mi} = \frac{4}{5}$	*Quintes.*	*Octaves.*
$\frac{re}{fa} = \frac{27}{32}$	$\frac{ut}{sol} = \frac{2}{3}$	$\frac{ut}{ut} = \frac{1}{2}$
$\frac{mi}{sol} = \frac{5}{6}$	$\frac{re}{la} = \frac{81}{120}$	

On voit dans ce tableau que les intervalles $\frac{ut}{re}$, $\frac{re}{mi}$, $\frac{fa}{sol}$, $\frac{sol}{la}$, $\frac{la}{si}$, sont à-peu-près égaux entr'eux ; on les nomme *tons entiers*. On voit que les intervalles $\frac{mi}{fa}$, $\frac{si}{ut}$, sont à-peu-près la moitié des autres ; on les nomme *demi-tons*.

L'intervalle $\frac{8}{9}$ qui se rapporte à $\frac{ut}{re}$, $\frac{fa}{sol}$, $\frac{la}{si}$, est nommé *ton majeur*; l'intervalle $\frac{9}{10}$ qui se rapporte à $\frac{re}{mi}$, $\frac{sol}{la}$, se nomme *ton mineur*.

Ainsi, dans l'étendue de notre échelle diatonique, il y a trois tons majeurs, deux tons mineurs et deux demi-tons, ou si on veut douze demi-tons.

L'intervalle $\frac{ut}{re}$ est une *seconde majeure* ; l'intervalle $\frac{re}{mi}$ une *seconde mineure*.

La *tierce* qui renferme deux tons, comme $\frac{ut}{mi}$, $\frac{fa}{la}$, $\frac{sol}{si}$, (*entre* ut *et* mi *il y a les tons* $\frac{ut}{re} = \frac{8}{9}$, $\frac{re}{mi} = \frac{9}{10}$) est

nommée *tierce majeure*; la *tierce* est *mineure* quand elle renferme un ton et un demi-ton, comme $\frac{\text{mi}}{\text{sol}}$, $\frac{\text{re}}{\text{fa}}$, $\frac{\text{la}}{\text{ut}}$, (entre *mi* et *sol* il y a le demi-ton $\frac{\text{mi}}{\text{fa}} = \frac{15}{16}$ et le ton $\frac{\text{fa}}{\text{sol}} = \frac{8}{9}$).

On nomme *quarte simple* celle qui est formée de deux tons et d'un demi-ton, comme $\frac{\text{ut}}{\text{fa}}$, $\frac{\text{re}}{\text{sol}}$, $\frac{\text{mi}}{\text{la}}$, $\frac{\text{sol}}{\text{ut}}$, (entre *ut* et *fa* il y a les tons $\frac{\text{ut}}{\text{re}}$, $\frac{\text{re}}{\text{mi}}$, et le demi ton $\frac{\text{mi}}{\text{fa}}$); on nomme *quarte superflue* celle qui est composée de trois tons, comme $\frac{\text{ut}}{\text{sol}}$, (entre *fa* et *si* il y a les trois tons $\frac{\text{fa}}{\text{sol}}$, $\frac{\text{sol}}{\text{la}}$, $\frac{\text{la}}{\text{si}}$).

La *quinte* est composée de trois tons et un demi-ton, comme $\frac{\text{ut}}{\text{sol}}$, $\frac{\text{re}}{\text{la}}$, $\frac{\text{mi}}{\text{si}}$, $\frac{\text{fa}}{\text{ut}}$, (entre *ut* et *sol*, il y a les tons $\frac{\text{ut}}{\text{re}}$, $\frac{\text{re}}{\text{mi}}$, $\frac{\text{fa}}{\text{sol}}$, et le demi-ton $\frac{\text{mi}}{\text{fa}}$).

La *sixte* est *mineure* si elle renferme trois tons et un demi-ton, comme $\frac{\text{mi}}{\text{ut}}$; elle est *majeure* lorsqu'elle renferme quatre tons et un demi-ton, comme $\frac{\text{ut}}{\text{la}}$, $\frac{\text{re}}{\text{si}}$.

Quatre tons et deux demi-tons donnent la *septième mineure*, comme $\frac{\text{re}}{\text{ut}}$; cinq tons et un demi-ton donnent la *septième majeure*, comme $\frac{\text{ut}}{\text{si}}$.

Enfin, l'*octave* est composée de cinq tons et deux demi-tons $\frac{\text{ut}}{\text{ut}}$.

Lorsqu'un son se trouve élevé d'un demi-ton, il se nomme *dièze*, et se marque ♯; lorsqu'il est abaissé d'un demi-ton, il se nomme *bémol*, et se marque ♭.

Les intervalles diézés et bémolisés sont nécessaires dans la musique, parce que, pour éviter la monotonie, il faut qu'on puisse regarder chaque son comme fondamental, et lui assigner son échelle.

(284) *Sons concomitans.* Lorsqu'on fait vibrer une corde, l'oreille distingue, outre le son principal, plusieurs autres sons qu'on nomme *concomitans*, et dont la série est 1, 2, 3, 4, etc. Il y a des personnes qui distinguent le son représenté par 7; mais, la plupart du temps, on ne distigue bien que le son principal et les sons 3 et 5, qui se confondent avec leurs octaves $\frac{3}{2}$ et $\frac{5}{4}$; c'est-à-dire, qu'on distingue le son principal, sa quinte et sa tierce majeure;

ce qui paraît tenir à ce que l'oreille ne fait pas de différence entre les octaves 1, 2, 4, etc.

C'est d'après ces observations, que Rameau a conclu que l'échelle musicale la plus naturelle est celle qui procède par quintes et par tierces majeures; or, l'échelle diatonique renferme trois successions de tierces majeures et de quintes, savoir : *fa*, *la*, *ut*; *ut*, *mi*, *sol*; *sol*, *si*, *re*; c'est donc l'échelle la plus naturelle : aussi, est-ce celle à laquelle on a été conduit long-temps avant qu'on eût des notions exactes sur la production du son.

La production des sons concomitans qui a lieu en plein air, et qu'ainsi on ne peut attribuer à la résonnance des corps environnans, paraît dépendre de la division de la corde en des parties qui rendent toutes un son indépendant de celui de la corde totale : c'est la supposition de Daniel Bernoulli, et ce qu'on déduit de la construction de l'équation aux différences partielles des cordes vibrantes. (*voyez* Monge, Application de l'Analyse, 4.e édition).

(285) *Accord parfait.*—Chacun des accords *fa*, *la*, *ut*; *ut*, *mi*, *sol*; *sol*, *si*, *re*, est nommé *accord parfait*. Ils se réduisent à $1, \frac{5}{4}, \frac{3}{2}$, et $1, \frac{5}{6}, \frac{3}{2}$, en représentant le son principal par 1; le premier rapport, qui renferme une tierce majeure, est nommé l'*accord parfait majeur*; le second est l'*accord parfait mineur*.

En termes de musique, on nomme *mode* le ton dans lequel la pièce de musique est composée; la note qui le détermine se nomme la *tonique*. On nomme *mode majeur* celui où la tierce au-dessus de la tonique est majeure, *mode mineur* celui où la tierce au-dessus de la tonique est mineure.

L'expérience montre que le mode majeur a quelque chose de gai, tandis que le mode mineur a quelque chose de sombre. En général, en choisissant telle ou telle note pour la tonique, les quintes et les tierces qui se succèdent ont quelque chose d'exalté qui porte à la joie, ou quelque chose de sombre qui porte à la tristesse.

(286) *Succession de consonnances dans l'échelle diatonique.* — Nous avons dit que les consonnances sont des accords qui plaisent à l'oreille ; toutes les secondes sont des dissonances : parmi les tierces il y a 5 consonnances et 1 dissonance ; dans les quartes, il y a 4 consonnances et 1 dissonance ; dans les quintes, 3 consonnances et 1 dissonance ; dans les sixtes, 2 consonnances, 1 dissonance ; les septièmes donnent deux consonnances. Il résulte de là que les consonnances se succèdent par tierces-majeures, tierces mineures, quarte, quinte, sixième majeure et mineure.

Si on cherche à produire une suite de sons consonnans suivant un même intervalle, on parvient bientôt à des sons faux qui ne font plus partie des échelles européennes. La série par quintes, qui est la plus simple, en donne dès le quatrième son. Soit 1 le son fondamental, en divisant par $\frac{2}{3}$, on aura la quinte $\frac{3}{2} =$ *sol* ; en divisant encore par $\frac{2}{3}$, on aura la quinte au-dessus $\frac{9}{4}$, qui est l'octave de *re* $= \frac{9}{8}$; les quintes suivantes seront $\frac{27}{8}$, $\frac{81}{16}$, etc. ; il n'y a que les trois premiers sons, qui correspondent à *ut*, *sol*, *re* qui, soient consonnans.

(287) *Tempéramens.* — Il arrive donc nécessairement que la série de quintes, de tierces, etc., que le chant parcourt, peut donner des dissonances désagréables. Pour éviter ces mauvais effets, on est obligé d'altérer chaque son successif, afin de se maintenir dans la série de l'échelle diatonique. Ces altérations sont nommées *tempéramens* ; elles doivent être combinées de manière à ce que l'harmonie, ou la suite des accords, n'en souffre pas. Le tempérament égal qui répartit également la différence sur tous les intervalles, excepté sur les octaves dont il convient de conserver la justesse, parce qu'elles ne souffrent pas la moindre altération, paraît être le plus naturel, parce que l'inexactitude de chaque intervalle est trop petite pour choquer l'oreille.

LIVRE TROISIÈME.

CORPS LIQUIDES.

PREMIÈRE SECTION.

PROPRIÉTÉS DES LIQUIDES.

CHAPITRE PREMIER.

De la figure de ces corps.

(288) *Les très-petites portions de liquides prennen naturellement la forme globuleuse*, comme on peut le voir dans le mercure qu'on jette sur une table, dans l'eau qui tombe sur un plan couvert de poussière fine ; comme on peut le voir aussi le matin des jours de rosée sur les feuilles des plantes, dont les petites aspérités sont couvertes de petits globules d'eau très-brillans.

Causes de la forme globuleuse. — Il faut attribuer cette forme à l'attraction de cohésion que les particules liquides ont entr'elles, jointe à leur grande mobilité. L'attraction agit pour pousser les particules du dehors au dedans ; mais comme ces particules sont très-mobiles, elles glissent les unes sur les autres, jusqu'à ce que toutes les forces opposées qui les poussent, se fassent mutuellement équilibre ; ce qui a lieu lorsque la masse a pris la forme d'une sphère. La figure sphérique est d'autant plus exacte,

que les particules du corps liquide sont plus mobiles, que le plan qui supporte le globule agit moins par attraction sur lui, et que le volume de ce globule est moins considérable.

(289) *Modification apportée à la forme sphérique par l'attraction des liquides et des corps qui les supportent.* — Une très-petite goutte de mercure placée sur le marbre, le verre, etc., prend assez exactement la figure sphérique, et n'adhère point au corps qui la supporte ; elle s'aplatit un peu, en prenant la figure hémisphérique, sur une lame d'étain, et adhère tellement à ce corps qu'il en reste mouillé.

Une goutte d'eau forme un globule parfait à l'extrémité des petits poils dont les feuilles de certaines plantes sont couvertes ; mais elle s'aplatit et ne présente plus qu'une hémisphère sur une lame de verre, de marbre, etc., à moins que ces corps ne soient saupoudrés d'une poussière fine qui empêche l'action du liquide sur eux.

(290) *Modification apportée par la gravité.*—L'attraction terrestre apporte aussi son influence pour changer la figure de la goutte liquide. Si cette goutte est suspendue à la surface inférieure d'un corps auquel elle adhère par son attraction, elle s'allonge et se présente sous la forme d'un sphéroïde, dont le grand axe est vertical ; c'est ce qu'on peut voir très-facilement en trempant une épingle dans l'eau, et faisant glisser vers la pointe le liquide qui reste à sa surface. Cette goutte s'allonge d'autant plus qu'elle est plus volumineuse ; et si elle l'est trop, il s'en détache une partie qui, en tombant, prend visiblement la forme d'un sphéroïde allongé dans le sens vertical.

Si la goutte liquide est appliquée à la surface supérieure du corps, elle s'aplatit, et cela d'autant plus que son volume est plus considérable, parce que le poids des parties supérieures exerce sur les inférieures une pression capable de vaincre la cohésion des particules, et de les faire glisser les unes sur les autres ; enfin si le liquide est en quantité

assez notable, il s'aplatit entièrement, sa surface devient parallèle au plan qui la supporte, et on ne voit plus de conrbure que sur les bords.

(291) Lorsqu'un corps liquide se trouve disposé en quantité notable dans un vase, il en prend exactement la forme, et sa surface devient plane et horizontale; ou, pour parler plns exactement, la snrface d'un liquide en repos appartient à une sphère concentrique au globe terrestre, parce que toutes les molécules liqnides se dirigent indépendamment les unes des autres vers le centre de la terre. Mais le rayon de la sphère dont cette surface fait partie, étant au moins égal à celui de la terre, qui est de 1432 lieues communes, il en résulte sensiblement une surface plane dans les petites étendues de liquide que nous considérons ordinairement. La vaste étendue des mers présente réellement la forme sphérique, comme le prouvent les voyages de long cours (68).

(292) *Forme des particules intégrantes liquides.* — Dans nn grand nombre de corps solides, on est conduit à reconnaître à priori, par la division mécanique, la forme des particules intégrantes; à l'égard des autres, on peut tirer quelques inductions de l'examen des formes secondaires : mais quelles inductions peut-on tirer sur la forme des particules intégrantes des corps liquides?

Quelques auteurs ont fait à cet égard le raisonnement suivant. Les particules des corps liquides se meuvent et glissent les unes sur les autres avec la plus grande facilité, sans subir d'altération dans la cohésion mutuelle qu'elles ont entr'elles, ou, ce qui est la même chose, sans que les distances relatives qu'elles ont entr'elles soient changées : or, la forme sphérique est la seule qui puisse convenir à ces effets, donc les particules liquides, sont sphériques. La viscosité que présentent divers liquides résulte du défaut de sphéricité parfaite de leurs particules intégrantes.

Nous avons entendu quelquefois faire cet autre raisonnement. Un grand nombre de corps liquides sont suscep-

tibles de se solidifier par un certain abaissement de température ; ils cristallisent alors régulièrement, et on peut trouver à priori, ou par induction, la forme de leurs parcules intégrantes qui sont des octaèdres, des cubes, des rhomboïdes, des parallélipipèdes irréguliers, etc. Or, toutes les observations faites jusqu'ici prouvent que tant qu'il n'y a pas d'altération dans la composition chimique d'un corps, la forme des particules intégrantes est constante ; donc, s'il est vrai qu'un corps à l'état solide ait exactement la même composition chimique que lorsqu'il est à l'état liquide, la forme des particules intégrantes est la même sous ces deux états ; mais on peut opposer à ce raisonnement, que cette identité de composition est loin d'être démontrée ; il paraît, au contraire, probable qu'un corps liquide est une combinaison de la base solide avec le calorique, qui a dès lors ses propriétés particulières, et que la vapeur est une autre combinaison du même genre.

CHAPITRE II.

De la porosité.

(293) Quoiqu'il soit impossible, avec les meilleurs microscopes, de découvrir la porosité des corps liquides, les physiciens admettent aussi en eux cette propriété ; 1.° d'après la faculté que possèdent ces corps de diminuer de grandeur en passant d'une température à une autre plus basse ; 2.° d'après les phénomènes que présente la combinaison des liquides entr'eux. On observe souvent dans cette combinaison que le volume du mélange est plus petit que la somme des volumes particuliers ; c'est ce qu'on peut remarquer en mêlant ensemble l'eau et l'esprit-de-vin, l'eau et l'acide sulfurique, etc. Or, pour concevoir ce résultat, les physiciens admettent que dans le composé les particules sont plus rapprochées que dans chacun des composans ; ce qui suppose que dans ceux-ci elles sont à une certaine distance les unes des autres.

On a fait diverses expériences par lesquelles on croit pouvoir démontrer que les corps liquides soumis à une pression considérable diminuent un peu de volume. Il en faudrait conclure que les particules se rapprochent les unes des autres, et par conséquent, qu'elles sont naturellement à une certaine distance.

On prouve aussi quelquefois la porosité par un autre syllogisme que nous croyons inexact. On observe que les globules liquides sont élastiques, et on en conclut qu'ils sont compressibles ; or, tout corps compressible est poreux, donc les liquides sont poreux. Mais nous ferons voir dans le chap. V, que l'élasticité des liquides n'est nullement une preuve de leur compressibilité.

CHAPITRE III.

De l'impénétrabilité.

(294) *Les liquides sont impénétrables aux solides.* — Les liquides manifestent leur impénétrabilité toutes les fois qu'on y plonge un corps avec lequel ils ne se combinent pas. Tout le monde sait qu'après avoir rempli exactement un vase d'un liquide quelconque, si on y plonge un corps solide qui y soit insoluble, ou qui ne s'y dissolve pas instantanément, le liquide se répand à l'instant pardessus les bords; rien n'est plus facile que de prouver que le volume du liquide déplacé est précisément égal à celui du corps qu'on y a plongé, si toutefois celui-ci n'est pas susceptible d'en admettre une partie dans ses pores.

On juge aussi de l'impénétrabilité des liquides lorsqu'on frappe avec vitesse du plat de la main à leur surface; car alors on éprouve une résistance aussi forte que si on eût frappé sur un corps solide. En passant la main rapidement dans un liquide, on sent aussi une résistance particulière qui annonce son impénétrabilité.

(295) *Les liquides sont impénétrables entr'eux.*—Les liquides qui ne sont pas susceptibles de se combiner, manifestent également leur impénétrabilité mutuelle lorsqu'on les met en présence les uns des autres. Si, après avoir rempli un vase d'eau, par exemple, on y verse ensuite du mercure, il s'échappe un volume d'eau égal à celui du métal liquide qu'on a ajouté. On ne peut pas non plus mêler ensemble de l'eau et de l'huile, de l'huile et de l'esprit-de-vin, etc., de manière à faire occuper à ces corps un volume moins considérable que la somme de leurs volumes particuliers.

(296) *Les liquides sont impénétrables aux gaz.* — On

peut prouver également que les liquides sont impénétrables aux corps aériformes qui ne s'y dissolvent pas ; car, en soufflant par un tube au fond d'un vase rempli d'eau, ou de mercure, ou d'esprit-de-vin, etc., on verra le gaz expiré se porter promptement à la surface supérieure sous la forme de bulles. Mais il existe des gaz qui se dissolvent dans l'eau, comme, par exemple, le *gaz ammoniac*, et qui ne seraient pas propres à cette expérience.

(297) Nous avons cité spécialement ici les corps qui ne sont pas susceptibles de se combiner entr'eux, parce que toutes les fois qu'il y a une action chimique entre deux ou plusieurs corps, il se fait un composé dont les particules, d'après leurs figures, s'arrangent entr'elles d'une manière particulière qui souvent donne lieu à une diminution de volume, et peut, par conséquent, porter à croire à une pénétration des corps mis en contact ; c'est ce qui arrive, comme nous l'avons dit, aux mélanges d'eau et d'esprit-de-vin, d'eau et d'acide sulfurique, etc.

(298) La *pompe foulante*, *fig.* 93, qu'on décrit habituellement avec les autres espèces de pompes (liv. 4. chap. 7), nous paraît devoir être placée ici, parce que la pression de l'atmosphère n'influe en aucune manière sur les effets de cette machine, et que l'impénétrabilité du liquide en est la seule cause.

A B, *fig.* 93, est un tuyau placé sous l'eau, toujours très-court et fermé à la partie inférieure, qu'on nomme *corps de pompe ;* un piston garni d'une soupape F, qui s'ouvre de haut en bas, se meut dans l'intérieur de ce tuyau. CDE est un tuyau plus étroit qui communique avec le premier, et s'élève jusqu'au point où on veut conduire le liquide. Une soupape G, qui s'ouvre de bas en haut, est placée vers la jonction des deux tuyaux. Au reste, on dispose cette machine de différentes manières, toutes analogues à celle que nous venons de décrire.

Le piston étant au plus haut point d'élévation, la soupape F se trouve naturellement ouverte, et le liquide rem-

plit le corps de pompe, ainsi que le tuyau CDE jusqu'au niveau MN; quand le niveau est établi, la soupape G est fermée; lorsqu'on abaisse le piston, la soupape F se ferme en vertu de l'impénétrabilité du liquide, et par la même cause la soupape G s'ouvre; alors le liquide est contraint à passer dans le tuyau montant.

Lorsqu'on relève le piston, l'eau qui se trouve dans le tuyau montant exerce, par son poids, une pression sur la soupape G, la ferme, et se bouche ainsi à elle-même le passage; au contraire, la soupape F s'ouvre, et il entre dans le corps de pompe une nouvelle quantité d'eau qu'on force, comme la première, à passer dans le tuyau CDE, et ainsi de suite. De cette manière, le liquide parvient bientôt jusqu'au déversoir C placé à une hauteur quelconque, et il s'en écoule ensuite au-dehors une certaine quantité à chaque coup de piston.

On peut, au moyen de cette pompe, élever l'eau aussi haut qu'on le desire; cependant il est facile de concevoir que, pour abaisser le piston, il faut employer une force capable de mouvoir une colonne d'eau dont la base serait celle du piston, et dont la hauteur serait déterminée par celle du liquide dans le tuyau montant (312); plus cette hauteur sera grande, plus il faudra déployer de force; de sorte qu'il y a nécessairement une certaine limite déterminée par la force qu'on a à sa disposition.

On emploie la pompe foulante lorsqu'il s'agit d'élever l'eau à une grande hauteur, et qu'on peut subvenir à la dépense de force nécessaire : les pompes qui sont mues par les courans des rivières, sont de ce genre; les pompes à incendies en sont également. Cependant, cette machine présente un inconvénient assez grave; c'est que s'il arrive le plus léger accident au corps de pompe, il faut, pour le réparer, démonter ce tuyau et le tirer de l'eau, à moins qu'on ne puisse vider le bassin, ce qui est souvent impossible.

CHAPITRE IV.

De la compressibilité.

(299) Les liquides, à ce qu'il paraît, sont à-peu-près incompressibles; les expériences par lesquelles on croi pouvoir prouver en eux un léger degré de compressibilité ne sont point décisives. Ce qu'il y a de certain, c'est qu'après avoir enfermé un liquide dans un vase très-solide, et avoir adapté un piston par dessus, on peut lui faire supporter une pression énorme; mais la moindre fissure suffit pour le laisser échapper en jets excessivementfins, ou pour donner lieu à ce que les parois se crèvent avec explosion. On emploie ce moyen pour essayer dans les fonderies si une pièce de canon est bien pleine et sans fissure; on place la pièce verticalement, l'ouverture en haut, et après l'avoir remplie d'eau, on place une espèce de piston par dessus, et on frappe à coups de mouton.

Les expériences sur lesquelles on s'appuie pour démontrer la compressibilité des liquides, sont particulièrement celles de Canton et de Mongez, mais il y a beaucoup à dire contre elles.

Le raisonnement que nous avons déjà cité, les *liquides sont élastiques donc ils sont compressibles*, est aussi rapporté très-souvent; mais nous allons faire voir dans le chapitre suivant, que l'élasticité des liquides a lieu par changement de formes et ne prouve, par conséquent, en aucune manière, leur compressibilité.

CHAPITRE V.

De l'élasticité.

(300) *Cette élasticité a lieu par changement de forme.* —Les liquides manifestent leur élasticité lorsqu'ils sont réduits en globules, et qu'on vient alors à changer leur forme par un moyen quelconque. Lorsqu'un globule de mercure est placé sur un plan horizontal, et qu'on exerce une petite pression à sa partie supérieure, on le voit changer de forme et s'aplatir d'une certaine quantité; mais il revient subitement à la forme sphérique aussitôt que la compression a cessé, et manifeste ainsi son élasticité.

Lorsqu'un globule liquide vient à choquer un corps solide, il rebondit avec une certaine force; c'est ce qu'on peut éprouver facilement avec le mercure. Il suffit de mettre un petit globule de ce métal sur une carte dont les bords sont relevés à angles droits, et de le faire rouler successivement d'un bord à l'autre; aussitôt que le petit globule a touché la paroi verticale, il revient sur ses pas avec une certaine vitesse.

On peut faire la même expérience avec l'eau, avec l'esprit-de-vin, etc., employant une boîte plus grande, dont le fond et les parois verticales soient couverts de poussière fine. Il n'est personne d'ailleurs qui n'ait vu, en laissant tomber du mercure sur le plancher, les petits globules dans lesquels il se partage, rebondir avec une certaine force, et le même effet avoir lieu en laissant tomber de l'eau sur un plancher sali par la poussière. On a également des signes de l'élasticité par le jaillissement de l'eau qui tombe sur un plan quelconque, un peu incliné.

En examinant attentivement le globule de mercure, à

l'instant où il choque la paroi verticale, on reconnaîtra qu'il s'aplatit dans le sens perpendiculaire à cette paroi, et s'allonge dans le sens qui lui est parallèle. Or, les globules liquides tendent à conserver la forme sphérique, comme nous l'avons expliqué ; et d'après ce que nous avons dit à cet égard, ils doivent y revenir lorsqu'ils en ont changé par une cause quelconque : c'est de là que résulte l'élasticité qui se manifeste. Il ne serait pas possible d'ailleurs, pour expliquer l'élasticité des liquides, de recourir à l'hypothèse d'une compression effectuée à l'endroit du choc, parce que les particules liquides glissent les unes sur les autres avec trop de facilité au moindre effort.

Il ne faudrait pas non plus considérer l'élasticité des liquides comme celle des corps solides ductiles, parce que la mobilité des particules intégrantes des liquides est trop grande pour qu'on puisse supposer, comme n.° 180, qu'elles n'ont point été assez déplacées pour acquérir de nouveaux points d'adhérence.

Il faut dire généralement, la pression ou le choc changent la forme du globule liquide, et lui donnent celle d'un ellipsoïde allongé dans le sens perpendiculaire à la direction de la force : en cet état, les forces attractives qui sollicitent les particules du globule du dehors au dedans, ne se font plus équilibre ; et comme les particules liquides sont très-mobiles, elles glissent les unes sur les autres jusqu'à ce que l'équilibre soit rétabli, c'est-à-dire, jusqu'à ce que le globule ait repris la forme sphérique.

Comme, d'un autre côté, ce retour à la forme sphérique se fait instantanément, il en résulte que le globule rebondit sur le plan contre lequel il a frappé.

C'est particulièrement à l'égard des liquides qu'on a fait ce raisonnement : *ils sont élastiques, donc ils sont compressibles* ; ce que nous avons dit en prouve assez l'inexactitude.

CHAPITRE VI.

De l'adhésion des liquides avec les différens corps.

(301) Nous avons fait voir (116) que deux plaques solides, bien planes et bien polies, que l'on fait glisser l'une sur l'autre, adhèrent entr'elles avec beaucoup de force. Le même effet a lieu entre les solides et les liquides ; c'est-à-dire, qu'en faisant glisser une plaque d'un corps solide à la surface d'un liquide, et essayant ensuite de la soulever, on trouve qu'elle y adhère avec beaucoup de force, et qu'on entraîne le liquide avant de l'en séparer.

La force d'adhérence varie suivant la nature du corps liquide et celle du corps solide qui est en contact avec lui.

(302) *Adhésion des différens métaux au mercure.* — On a fait beaucoup d'expériences sur l'adhésion des différens métaux avec le mercure. (Annales de Chymie, tom. 7). On se servait, à cet effet, de plaques métalliques parfaitement arrondies, de 27 millimètres de diamètre et toutes de même épaisseur ; on suspendait ces disques l'un après l'autre, au moyen d'un anneau, au bras d'une balance, et on établissait l'équilibre au moyen des poids placés dans le plateau opposé ; on les mettait ensuite en contact avec du mercure auquel ils adhéraient plus ou moins ; puis on ajoutait de nouveaux poids dans le bassin, jusqu'à ce que l'adhérence fût rompue. On trouva ainsi que

Un disque d'or adhérait au mercure avec une force de. 23 g, 63.

Un disque d'argent. . . . . 22, 74.

Un disque d'étain. . . . . 22, 15.

Un disque de plomb.	21g.,	04.
Un disque de bismuth.	19,	71.
Un disque de platine	14,	98.
Un disque de zinc	10,	81.
Un disque de cuivre.	7,	52.
Un disque de fer	6,	10.

En faisant des expériences semblables avec des plaques de verre, de marbre, de bois, etc., etc., et les différens liquides, on verra toujours qu'il est nécessaire d'employer certains poids pour rompre l'adhésion, et que ces poids varient suivant les corps en contact.

(303) *Corps susceptibles, ou non, d'être mouillés par les différens liquides.* — On sait qu'il existe des corps qui sont susceptibles d'être mouillés par un liquide, et d'autres qui ne le sont pas. On considère ces phénomènes comme le résultat de l'attraction des molécules liquides les unes pour les autres, et de leur attraction pour les corps avec lesquels ils sont en contact. Lorsque l'attraction des molécules liquides les unes pour les autres est plus petite que l'attraction mutuelle qui existe entre le liquide et le corps, ce corps est mouillé ; au contraire, lorsqu'elle est plus grande, ce corps reste sec.

Lorsqu'on plonge une lame de verre dans l'eau, on la retire mouillée et le liquide y adhère fortement ; mais lorsqu'on y plonge une lame de métal poli, une lame de rasoir, par exemple, on la retire sèche : les corps gras sont difficilement mouillés par les liquides.

Les mêmes choses se passent à-peu-près pour les liqueurs spiritueuses, pour les huiles volatiles ; ces derniers liquides mouillent assez facilement les corps gras.

Les huiles grasses sont susceptibles de mouiller tous les corps.

Il existe un grand nombre de corps qui ne peuvent être mouillés par le mercure, tels sont le verre, toutes les matières terreuses, le bois, le fer, l'acier, etc. ; mais il existe aussi des corps qui peuvent être mouillés par ce liquide,

tels sont l'or, l'argent, l'étain, le plomb, le cuivre, etc. Si on plonge dans le mercure, une lame d'étain, on la retire toute blanchie par ce métal qui y adhère fortement.

(304) *Des corps qui attirent l'humidité.* — Il existe beaucoup de substances qui attirent, avec une grande force, l'eau qui est répandue en vapeur dans l'atmosphère; tels sont différens sels, tels sont le verre, qui est toujours un peu humide à sa surface, le papier, les cordes à boyau, etc. Plusieurs liquides, comme l'acide sulfurique, l'acide nitrique, etc., sont aussi dans ce cas; ce qu'on reconnaît à l'affaiblissement qu'ils éprouvent lorsqu'ils sont exposés à l'air, et à leur augmentation de poids.

(305) *Diverses actions des liquides les uns sur les autres.* — Les liquides ont aussi les uns sur les autres diverses actions dont il n'est pas facile de se rendre raison; quelques-unes cependant paraissent dépendre de leurs attractions réciproques; telle est, par exemple, la suivante.

Lorsqu'on projète une goutte d'huile à la surface de l'eau, elle s'y étend avec la plus grande rapidité en une couche excessivement mince, qui présente des cercles concentriques agréablement colorés. S'il se trouve quelques corps légers qui flottent sur l'eau, on voit, à l'instant où la goutte s'étend, tous ces petits corps se porter rapidement du centre à la circonférence de la surface liquide.

Si on pose, sur le liquide, plusieurs gouttes d'huile à-la-fois, chacune d'elles s'étend très-peu, et il semble qu'elles se repoussent mutuellement. Il nous a paru que la hauteur de l'eau dans le vase et l'étendue de sa surface influaient beaucoup sur les résultats. Dans un vase très-étroit, l'extension de la goutte d'huile n'a souvent pas lieu.

Si, après avoir humecté le fond d'une soucoupe avec de l'eau, on y porte ensuite une goutte d'esprit-de-vin, on voit que l'eau est chassée à une grande distance tout autour de cette goutte, et que la soucoupe reste sèche. M. Carradori de Prato a expliqué ce phénomène en considérant

l'esprit-de-vin, comme ayant pour la terre de la soucoupe plus d'attraction que n'en a l'eau; mais on peut faire l'expérience d'une autre manière qui renverse entièrement cette explication. Au lieu d'humecter le fond de la soucoupe avec l'eau, il faut l'humecter avec l'esprit-de-vin même, et y porter ensuite une goutte du même liquide; on voit alors les choses se passer absolument comme dans le cas précédent.

En posant seulement une goutte d'esprit-de-vin sur une plaque de verre, on la voit s'étendre en cercles concentriques, séparés souvent les uns des autres par des places sèches, et il ne reste bientôt plus rien à l'endroit même où l'on a posé la goutte liquide.

Si on porte une goutte d'esprit-de-vin à la surface de l'eau, on voit à l'instant un frémissement très-rapide; et s'il se trouve en cet endroit quelques corps légers, ils sont lancés au loin avec une grande vitesse.

Si on place sur l'eau un petit morceau de camphre, on le voit agité de divers mouvemens très-remarquables.

M. Prévôt, de Genève, savant très-distingué, a regardé généralement les phénomènes que nous venons de citer, comme le résultat de l'émanation des particules odorantes qui s'échappent du corps qu'on met en contact avec l'eau. Quoique plusieurs substances, qui ne sont point odorantes, produisent des effets analogues, M. Prévôt persiste dans son opinion, en regardant ces substances comme douées d'une odeur que nos sens ne peuvent apercevoir, et qui se manifeste à nos yeux par les phénomènes cités.

Nous ne prétendons rien prononcer sur cette manière de voir; il y a des expériences pour et contre. Nous renverrons le lecteur aux annales de chymie, tom. 21, 35, 37, 40, 48, 51, où il trouvera, dans les Mémoires de Prévôt, Carradori de Prato, et de Draparnaud, une longue série d'expériences que nous ne pouvons citer ici.

DEUXIÈME SECTION.

PRINCIPES DE L'ÉQUILIBRE DES CORPS LIQUIDES.

Le caractère essentiel des corps liquides est la parfaite mobilité de leurs particules. Ce caractère, joint à l'impénétrabilité, conduit au principe de l'égalité de pression en tout sens, qui sert de base à toute l'hydrostatique. En effet, si une masse liquide se trouve en équilibre, il faut que les particules, d'après leur extrême mobilité, soient également pressées de toutes parts ; car si elles étaient plus pressées d'un côté que d'un autre, elles se mouvraient nécessairement du côté de la plus grande force. On tire de ce principe l'explication de tous les phénomènes que présente l'équilibre des corps liquides. Mais nous allons démontrer par expérience les résultats des considérations mathématiques.

CHAPITRE VII.

De la manière dont les liquides pressent sur les parois des vases qui les renferment.

(306) *Considérations générales.* — Un corps solide non ductile, une masse de verre, par exemple, enfermé dans un vase cylindrique dont il touche les parois latérales sans y exercer de frottement sensible, ne pèse que sur le fond du vase, quelque pression qu'on exerce à sa surface supérieure, parce que les particules sont très-fortement

unies entr'elles, et ne peuvent glisser les unes sur les autres.

Un corps ductile, comme le plomb, l'étain, la graisse, etc. qu'on enferme dans le même vase, ne presse encore que sur le fond lorsqu'il est sollicité seulement par la gravité ; mais si on ajoute à sa partie supérieure une force capable de vaincre la cohésion des particules, on reconnaît que l'action s'exerce aussi sur les parois latérales, et même sur les parois supérieures ; car s'il se trouve une ouverture en quelqu'endroit que ce soit, le corps s'échappe par elle en filamens.

(307) Les graisses dont les particules sont déjà extrêmement mobiles, s'affaissent même d'une certaine quantité sous leur propre poids ; mais ce sont surtout les liquides qui présentent cette propriété d'une manière remarquable. On sait en effet, qu'il ne serait pas possible d'élever une colonne liquide sans qu'elle s'écroulât sous son propre poids, parce que, dans ces corps, les molécules glissent les unes sur les autres avec la plus grande facilité.

Il résulte évidemment de ce que nous venons de dire, que si un corps liquide est enfermé dans un vase, non-seulement il presse dans le sens de la gravité, mais encore dans un sens perpendiculaire à la direction de cette force, c'est-à-dire, horizontalement.

(308) Outre ces deux pressions, les liquides en exercent aussi une autre de bas en haut, lorsqu'ils sont placés dans les circonstances convenables. Pour concevoir comment cela peut avoir lieu, remarquons que les liquides sont impénétrables (294), et que, d'après cela, quand on y plonge un corps, leur niveau s'élève d'une quantité proportionnelle au volume de ce corps. Si, dans ce cas, le liquide est enfermé de manière à ce qu'il ne puisse pas s'élever, il est évident qu'il exerce un effort considérable sur l'obstacle qui lui est opposé : c'est précisément ce qui a lieu dans le vase *fig.* 94 ; la colonne liquide *fg* tend par son poids à rentrer dans la partie *abcd* ; mais la paroi *ab* s'oppose à l'éléva-

tion du liquide, donc ses différens points doivent subir de bas en haut une certaine pression.

En général, les liquides enfermés dans des vases exercent leur pression dans toutes les directions.

ARTICLE PREMIER.

Pression sur la paroi horizontale inférieure.

(309) *Dans un vase vertical.* — Les différens points de la paroi horizontale et inférieure d'un vase, ne sont pressés qu'en raison de leur surface et de la hauteur perpendiculaire du liquide au-dessus d'eux. Ainsi, dans le vase cylindrique, fig. 95, la partie *ab* du fond ne supporte que le poids de la colonne *abcd*, ce qui est évident par soi-même, et ce qu'on peut prouver par expérience. Il suffit, pour cela, d'enlever cette partie *ab*, et de disposer, en sa place, une petite plaque qui ferme exactement l'ouverture circulaire. On soutient cette plaque par le moyen d'un cordon attaché à son centre, et qui s'accroche au levier d'une balance.

Connaissant le diamètre de l'ouverture et la hauteur du liquide, on calculera le volume de la colonne, et on aura son poids, si on sait combien pèse le décimètre cube du liquide employé (pag. 48). On verra, dès lors, que pour maintenir la plaque, lorsqu'elle est chargé du liquide, il suffit de mettre, dans le plateau de la balance, un poids égal à celui qu'on a trouvé (*).

Le fond AB du cylindre supporte évidemment le poids total du liquide.

(310) *Dans un vase incliné*, comme fig. 96, ou même contourné de diverses manières, le fond est pressé comme s'il se trouvait au-dessus de lui une colonne verticale

(*) Il est nécessaire d'avertir que nous supposons que le poids de la plaque fait équilibre au plateau de la balance.

abcd, dont la hauteur est mesurée par la perpendiculaire entre le fond horizontal et le niveau du liquide.

Pour vérifier ce fait par l'expérience, il faut que le fond soit mobile et s'applique contre l'ouverture de manière à la fermer exactement. On soutient ce fond à-peu-près comme dans l'expérience précédente, au moyen d'une balance, dont un des plateaux est large, plat et découpé comme le représente la figure. Ayant calculé quel doit être le poids de la colonne *abcd*, on verra que, pour soutenir la plaque, il faut placer, dans le second plateau, un poids précisément égal.

(311) *Dans un vase dont les parois latérales sont inclinées du dedans au dehors*, comme fig. 97, le fond supporte le poids d'une colonne, dont *ab* serait la base et *ad* la hauteur. Ce que l'on peut vérifier, en rendant le fond mobile et le soutenant par son centre au moyen d'un cordon accroché au levier d'une balance, comme dans les expériences précédentes.

(312) *Dans un vase dont les parois sont inclinées du dehors au dedans*, ou qui a la forme, fig. 98, le niveau du liquide étant en *c*, le fond *ab* supportera la même pression que s'il se trouvait au-dessus de lui une colonne *abdf*. C'est ce qu'on prouve par des expériences semblables à celles que nous avons faites ci-dessus, et voici comment on peut le concevoir : supposons un vase formé de la réunion de plusieurs tubes, fig. 99; il est évident (310) que le fond *ab* supportera le poids d'une colonne *abd*, que le fond *cf* supportera la colonne *cfg*, *hi* supportera *hik*, etc.; or, on peut se figurer de semblables tubes dans le vase proposé ; chaque partie du fond où aboutirait un tube supporterait le poids d'une colonne dont la hauteur serait déterminée par le niveau du liquide. La pression que supporterait la base totale *ab*, fig. 99, serait la somme de toutes les pressions particulières, et cette somme représente la colonne *abdf*.

Ce résultat est pleinement confirmé par l'expérience.

On trouve que pour soutenir le fond *ab* appliqué contre l'ouverture, il faut employer un contre-poids précisément égal au poids de la colonne *abdf*, qu'on détermine par le calcul.

(313) On voit, par cette expérience, qu'avec une très-petite quantité d'eau, on peut produire un effort aussi considérable qu'on voudra, en disposant, au-dessus d'une base très-large, un tuyau très-long et très-étroit qu'on remplit de liquide; c'est le principe de la presse hydraulique, dont les effets sont prodigieux. C'est ce résultat qu'on a nommé *paradoxe hydrostatique*, parce que l'énoncé en est effectivement paradoxal.

ARTICLE II.

Pression sur la paroi horizontale supérieure.

(314) Nous nous proposons ici de faire voir que les différentes parties de la paroi horizontale supérieure sont pressées de bas en haut en raison de leur surface et de la hauteur du liquide qui peut se trouver au-dessus.

Si on fait en *h*, fig. 94, une petite ouverture, et qu'on y place un petit tube vertical *hi*, la résistance de la paroi étant détruite en cet endroit, le liquide peut s'échapper: Il s'élève dans le tube jusqu'à ce que sa surface se trouve de niveau avec celle du liquide dans la colonne *fg*. Cet établissement de niveau porte à cette conclusion, que l'ouverture *h* est pressée de haut en bas avec la même force que de bas en haut; car, il est évident que pour que deux forces opposées se détruisent, il faut qu'elles soient égales. Donc, la pression que supporte de bas en haut chaque partie de la paroi horizontale *ab*, est égale au poids d'une colonne liquide dont elle serait la base et dont la hauteur serait celle de la colonne *fg*.

Le tube *hi* peut être droit ou incliné sous tous les angles possibles; le niveau s'établit toujours.

Il résulte de la pression, que les liquides exercent

de bas en haut; qu'un seau au moyen duquel on puise de l'eau, peut aussi bien être empli par la partie inférieure que par la partie supérieure. Il suffit pour cela de disposer, au fond du seau, une soupape qui s'ouvre de bas en haut, et qui se ferme ensuite par le poids du liquide qui est passé au-dessus d'elle. On emploie plus particulièrement ce moyen pour puiser de l'eau dans les puits très-profonds, et on se sert alors de deux seaux très-grands attachés aux deux extrémités d'une même corde qui se roule sur un tambour horizontal; l'un des seaux monte pendant que l'autre descend.

ARTICLE III.

Pression sur les parois latérales.

(315) *Parois verticales.* — Considérons sur la paroi verticale, fig. 100, une surface carrée dont *ab* soit le côté; cette surface sera pressée comme si elle était horizontale, et qu'il se trouvât au-dessus d'elle une colonne liquide dont elle serait la base, et dont la hauteur serait *cd*, distance entre le centre *c* de la surface carrée et le niveau du liquide. Pour le prouver, on calculera le poids de la colonne *surf. ab* × *cd* du liquide proposé, puis, ayant enlevé la surface *ab*, on couvrira le trou par une plaque de fer blanc qui puisse le fermer exactement. On maintiendra cette plaque au moyen d'un cordon qui glisse sur une poulie *o* et va s'accrocher au levier d'une balance; au moyen de cet appareil, on reconnaîtra que pour soutenir la plaque, lorsque le niveau du liquide est en *d*, il faut mettre, dans le plateau de la balance, un poids égal à celui qu'on aura trouvé pour la colonne *surf. ab* × *cd*.

En général, les différentes parties des parois latérales et verticales d'un vase sont pressées en raison de leur surface et de la hauteur du liquide au-dessus de leur centre.

(316) *Lorsque les parois latérales du vase sont inclinées du dedans au dehors*, comme figure 101, il y a à

considérer dans chaque point l'action qui s'exerce dans le sens de la gravité et celle qui s'exerce dans le sens horizontal. Si on perçait un trou en *a*, le liquide devrait s'écouler verticalement en vertu de la pression de haut en bas, et il devrait s'écouler horizontalement en vertu de la pression horizontale ; mais, étant sollicité à-la-fois par ces deux forces, il prendra une direction intermédiaire, qui, près de l'ouverture, sera sensiblement perpendiculaire à la paroi.

(317) *Si les parois latérales sont inclinées de dehors en dedans*, *fig.* 102, il y a à considérer, en chaque point, la pression latérale et la pression de bas en haut. En vertu de ces deux pressions combinées, le liquide s'échappe par l'ouverture *a* dans une direction perpendiculaire à la paroi.

(318) C'est en vertu de la pression qui s'exerce latéralement, qu'nn liquide enfermé dans un vase s'écoule, lorsqu'il se trouve une ouverture en quelque point de la paroi latérale. La rapidité du jet est d'autant plus considérable que l'ouverture est percée plus bas au-dessous du niveau.

C'est aussi parce que les liquides exercent leur pression latéralement, que les digues qui retiennent les eaux d'un étang, d'un lac, d'une rivière, se crèvent quelquefois, en cédant à l'effort qu'elles supportent.

On voit, d'après les deux expériences précédentes, que les digues inclinées supportent une pression plus grande que les digues verticales ; mais celles de ces constructions qui sont faites en terre, ne pourraient se soutenir si les parois étaient coupées verticalement ; et de même une maçonnerie inclinée a plus de solidité qu'une maçonnerie verticale.

(319) *Lorsque dans un vase rempli de liquide*, *on en plonge un autre vide*, chaque point des parois de ce dernier est pressé en raison de la hauteur du liquide au-dessus de lui. C'est par cette raison qu'un vaisseau qui se trouve percé, par une cause quelconque, à sa partie submergée, fait eau par cette ouverture, et que le liquide y entre avec

d'autant plus de force que son niveau est plus élevé au-dessus du trou.

ARTICLE IV.

De la pression dans toutes les directions.

(320) *On peut dire, en général, que les liquides pressent dans toutes sortes de directions;* mais les pressions de haut en bas, de bas en haut et horizontales, sont les principales; toutes les autres peuvent être regardées comme le résultat des actions simultanées de celles-ci.

Ainsi, lorsque sur le vase, *fig.* 94, le tube *hi* est vertical, c'est la pression de bas en haut qui agit seule pour élever le liquide jusqu'au niveau de ce qui reste dans la colonne *fg;* mais lorsque le tube est incliné comme *hk*, la pression de bas en haut se combine avec la pression horizontale pour produire cet effet. La même chose a lieu dans les vases qui communiquent d'une manière quelconque avec des tubes de figure quelconque, ou avec d'autres vases, *fig.* 103. Dans tous les cas, le niveau s'établit quels que soient la forme des tubes, leur inclinaison sur le vase principal et leurs contours.

On voit bien que dans les tubes contournés, *fig.* 104, le niveau s'établit aussi en vertu de la pression horizontale et de la pression de bas en haut.

(321) *La propriété des liquides de tendre toujours au niveau dans des vases communiquans, est très-importante pour la conduite des eaux.*—S'agit-il, par exemple, de conduire les eaux d'une montagne sur une autre qui en est séparée par une vallée, il suffira d'établir, sur la seconde montagne, un réservoir au niveau de la source, et de disposer, sur les pentes de la vallée, des tuyaux de communication. C'est par ce moyen qu'on distribue l'eau dans les différens quartiers des grandes villes, par des tuyaux cachés sous le pavé des rues, et qui partent d'un réservoir situé à une certaine hauteur. On peut ainsi élever l'eau aux

différens étages d'une maison, pourvu que ces étages ne soient pas au-dessus du réservoir. Les fontaines, les jets d'eau, etc., sont produits de la même manière; les jets d'eau, sans la résistance de l'air et les frottemens sur les parois des tuyaux de conduite, s'éleveraient à la hauteur du niveau de l'eau dans le réservoir qui les produit.

(322) Nous ne pouvons pas quitter ce sujet, sans faire remarquer que les parties inférieures du tuyau supportant une pression très-considérable, lorsque la colonne liquide est très-haute, il est essentiel que les parois aient une épaisseur assez considérable pour résister; mais il serait inutile de donner la même épaisseur aux parois des parties supérieures; ce serait de la matière employée en pure perte.

Il sera toujours facile de calculer l'épaisseur qu'on doit donner à un point quelconque de la paroi pour lui procurer une résistance suffisante, puisqu'on sait que la pression, en ce point, est mesurée par le poids de la colonne liquide qui lui correspond.

(323) *Les sources qui se trouvent dans des endroits très-élevés*, et autour desquels on n'en voit pas qui le soient sensiblement plus, peuvent être produites par des crevasses qui communiquent d'une montagne à une autre, et à la faveur desquelles ce liquide tend à se mettre de niveau.

Les sources jaillissantes naturelles sont des phénomènes semblables à nos jets d'eau; elles ont lieu toutes les fois qu'il existe un bassin supérieur d'où l'eau peut s'écouler par des conduits naturels. Dans certains endroits, il suffit de percer dans la terre un trou avec une sonde pour se procurer une source jaillissante; c'est un moyen employé pour se procurer de l'eau dans plusieurs parties de la France. Cette circonstance peut avoir lieu toutes les fois qu'il se trouve, à quelque distance sous terre, deux couches imperméables, dont l'intervalle, libre ou rempli de sable, forme une sorte de conduit qui communique avec une rivière ou une masse d'eau quelconque d'un niveau plus

élevé : il suffit même que les couches imperméables soient, comme *fig.* 105, inclinées de manière à ce que les eaux puissent se rassembler dans leur intervalle.

Des puits. Il existe souvent, à peu de distance dans l'intérieur de la terre, des amas d'eau considérables ; ces eaux filtrent de la surface du terrein à travers les terres qui les laissent pénétrer, et s'arrêtent sur les couches imperméables. Elles peuvent venir également, à travers les terres ou par quelques crevasses, de quelques lacs ou de quelques rivières qui se trouvent dans les environs. Nous creusons des puits pour aller chercher ces eaux ; mais souvent on est obligé de creuser très-profondément avant de les rencontrer, et quelquefois, à l'instant où on les trouve, elles s'élèvent dans le puits avec une telle violence, que les ouvriers n'ont pas le temps de se retirer, et qu'il arrive alors des accidens très-fâcheux. C'est ce qui aurait lieu, par exemple, en creusant un puits en A, *fig.* 105 ; l'eau monterait dans le puits avec une grande force, parce que le niveau *ab* étant très-élevé, il s'exercerait de bas en haut une pression très-considérable.

---

(324) Dans tout ce que nous avons dit jusqu'ici, nous avons supposé les vases remplis d'un seul liquide ; la pression que supporte alors un point quelconque de la paroi, dépend de la densité du liquide et de sa hauteur ; mais il peut arriver que des liquides de pesanteurs spécifiques différentes, comme du mercure, de l'eau, de l'huile, de l'esprit-de-vin, etc., se trouvent enfermés dans le même vase où chacun occupera une place dépendante de son plus ou moins de pesanteur spécifique comparativement aux autres liquides. Dans ce cas, pour estimer la pression en un point donné, il faudra estimer la hauteur de chaque couche de nature différente, calculer les poids des

diverses portions de ces couches qui peuvent presser sur la partie proposée, et ajouter ces poids pour avoir la pression totale.

Tant que les volumes liquides, qui se font équilibre dans des vases communiquans, sont de même nature, elles sont nécessairement de même hauteur; mais si la matière liquide contenue dans un des vases est plus légère ou plus lourde que celle qui est contenue dans l'autre, les hauteurs seront differentes, et en raison inverse des pesanteurs spécifiques. C'est ainsi qu'une colonne d'eau qui ferait équilibre à une colonne de mercure, serait environ 14 fois plus haute qu'elle. C'est aussi ce que nous voyons dans nos baromètres, où une colonne de mercure de 76 centimètres de hauteur fait équilibre à une colonne d'air dont la hauteur est de plus de 52 mille mètres.

CHAPITRE VIII.

Des effets de la pression des liquides sur les corps qui y sont plongés.

(324) *Les corps liquides perdent une partie de leur poids par leur immersion dans un liquide.* — Concevons, au milieu de la masse liquide, *fig.* 106, un parallélipipède solide *ai*, assez lourd pour descendre dans le liquide, et examinons les divers effets qui peuvent résulter de la pression qu'il supporte dans différens sens.

La face latérale *abdc* est pressée par une colonne liqnide dont elle est la base, et dont la hauteur est déterminée par la distance de son centre au niveau (315); la face opposée *fgih* subit une pression égale, mais en sens contraire; de sorte que ces deux pressions se détruisent et qu'il n'en peut résulter aucun mouvement de translation. On fera le même raisonnement pour les deux autres faces *achf*, *bdig*.

La face supérieure *abgf* supporte la pression de la colonne liquide dont elle est la base, et dont *mn* est la hauteur.

La face inférieure *cdih* est pressée de bas en haut par la colonne liquide dont elle est la base et dont la hauteur est *Pn*. Cette pression tend à soulever le corps; mais si on en retranche la pression supérieure qui tend à le faire descendre, il ne restera plus, de bas en haut, qu'une pression déterminée par une colonne liquide dont *cdih* est la base, et dont P*m*, égale à *ca*, est la hauteur. C'est précisément le volume du parallélipipède; donc le corps solide est sollicité, de bas haut, par un effort égal au poids

du volume liquide qu'il déplace ; donc le corps solide doit perdre une partie de son poids égal au poids du volume liquide déplacé.

(325) Pour prouver par expérience la vérité de cette conclusion, qu'on prenne un décimètre cube d'étain pur; on trouvera que, dans l'air, il pèse $7^{\text{kilog.}}$,291 (*pag.* 47); mais si on le plonge dans l'eau, après l'avoir accroché au fléau d'une balance et qu'on le pèse alors, on trouvera que son poids n'est plus que de 6^{k},291 ; il a donc perdu 1 kilogramme; et c'est précisément le poids du décimètre cube d'eau qu'il déplace (87).

Si, au lieu de peser le corps dans l'eau, on le pèse dans l'esprit-de-vin, il ne perdra plus 1 kilog., parce que le décimètre cube d'esprit-de-vin ne pèse pas 1 kilog.; mais seulement 0^{k},837.

En général, plus la densité du liquide employé est considérable, plus la perte que fait le corps qu'on y plonge est grande.

(326) D'après ces expériences, on voit pourquoi il est plus facile de soulever un corps lorsqu'il est plongé dans l'eau, par exemple, que lorsqu'il l'est simplement dans l'air. Tout le monde sait qu'on soulève assez facilement une poutre de bois qui se trouve au fond d'un bassin rempli d'eau, tandis qu'on ne pourrait la remuer, si elle était simplement sur la terre. C'est que, dans l'eau, elle a perdu de son poids ce que pèse le volume liquide qu'elle déplace; par exemple, une poutre de bois de chêne de 2 décimètres d'équarrissage et de 3 mètres de long, peut peser environ 150 kilogrammes (supposons ce poids exact); le volume d'eau qu'elle déplace est de 120 décimètres cubes et pèse, par conséquent, 120 kilog. qui, retranchés de 150, donnent 30 kilog. pour le poids sensible qui reste à la poutre.

Ce n'est que quand on a amené cette pièce de bois à la surface de l'eau, et qu'elle en est en partie sortie, qu'on commence à éprouver l'action de son poids. Il n'est personne qui n'ait eu occasion de faire cette remarque d'une

manière ou d'une autre : en tirant un seau d'eau, par exemple, tout le monde peut remarquer que tant que le seau est submergé, on le soulève avec la plus grande facilité, et qu'on ne commence à sentir son poids que quand il sort de l'eau. Cet effet est tout simple ; l'eau qui se trouve dans le seau n'a pas de poids sensible pour nous, tant qu'elle fait partie de la masse totale, parce qu'elle est pressée de bas en haut, comme elle presse de haut en bas, et d'un autre côté, le seau lui-même a perdu une bonne partie de son poids ; mais, hors du liquide, il faut soutenir à-la-fois le poids total du seau et celui de l'eau qu'il renferme.

(327) *Principes de la détermination de la pesanteur spécifique des solides.*— C'est sur la connaissance de ce phénomène, que les corps solides plongés dans un liquide y perdent une partie de leur poids égale au poids du volume liquide qu'ils déplacent, qu'est fondée la seconde méthode de déterminer la pesanteur spécifique d'un corps, que nous avons annoncée (84).

Après avoir pesé un corps dans l'air, on le pèse dans l'eau ; la différence entre le premier poids et le second, est le poids du volume liquide déplacé : or ce volume liquide est égal au volume du corps ; on a donc le poids de l'eau et le poids du corps sous le même volume ; par conséquent, on peut établir la proportion p. (*poids de l'eau*) : p' (*poids du corps*) : : 1 (*pesanteur spécifique de l'eau*) : x (*pes. spéc. du corps*).

(328) Dans cette méthode, comme dans l'autre (85), il faut avoir une attention particulière pour les corps qui sont susceptibles d'imbiber l'eau. Si le corps, en expérience, absorbait toute l'eau qu'il déplace, cette eau, par son poids, ferait équilibre à la pression qui agit de bas en haut (324), par conséquent la balance indiquerait zéro de perte. Dans ce cas, pour avoir la perte que le corps doit faire, il faut déterminer le poids de l'eau dont il est imbibé ; ce qui est facile, en le pesant d'abord sec,

puis lorsqu'il est complètement imbibé : la différence entre les deux poids, sera le poids de l'eau qui a rempli les pores.

Si le corps n'absorbe qu'une portion d'eau, il faudra, à la perte qu'indique la balance, ajouter le poids de la quantité d'eau absorbée qu'on déterminera comme précédemment.

Si le corps est susceptible de se dissoudre dans l'eau, il faudra chercher un liquide dans lequel il ne se dissolve pas : soit a la pesanteur spécifique de ce liquide, on cherchera la perte qu'il y fait et on établira la proportion :

$$p : p' :: a : x = \frac{ap'}{p}, \text{ (comme n.° 86).}$$

CHAPITRE IX.

Des corps flottans.

(329) *Le corps flottant déplace un volume liquide dont le poids est égal au sien.*— Dans le chapitre précédent, nous avons supposé que le corps solide *ai* était plus pesant que le liquide dans lequel il était plongé ; il nous reste à voir ce qui arrive lorsqu'il est plus léger.

Lorsque le corps *ai*, *fig.* 106, est plus lourd que le volume de liquide qu'il déplace, il tombe au fond en vertu de l'excédent de son poids ; si au contraire il est plus léger, il doit être porté à la partie supérieure en vertu de l'excédent de la pression de bas en haut sur celle qu'il exerce de haut en bas ; cette pression doit le forcer à sortir en partie du liquide ; mais à l'instant où il commence à en sortir, la quantité de liquide déplacée diminue, et par conséquent aussi la force d'ascension ; de sorte qu'il arrive un moment où le volume du liquide déplacé est tel que son poids fait équilibre à celui du corps, et à ce point, le corps sollicité de bas en haut, comme il l'est de haut en bas, doit nécessairement flotter.

Pour prouver par expérience qu'un corps solide qui flotte à la surface d'un liquide, déplace un volume de ce liquide dont le poids est égal au sien, on peut prendre un vase de fer blanc, *fig.* 107, assez large pour admettre intérieurement une boule de cire de la grosseur des deux poings. Ce vase est percé en *a* d'un trou auquel est adapté un petit tube ; on y verse de l'eau, par exemple, jusqu'à ce que le liquide déborde par le tube *a* et qu'il s'établisse un niveau.

On pose ensuite à la surface de l'eau une boule de cire de la grosseur des deux poings; cette boule, en s'enfonçant en partie, déplace un volume de liquide qui s'échappe par le tube *a*, et qu'on retient dans une bouteille disposée à cet effet.

En pesant la quantité d'eau qui s'est échappée, on verra que son poids est précisément égal à celui de la boule de cire. On peut faire la même expérience avec tout autre liquide et tout autre corps.

(330) *Conséquences des considérations précédentes. Exemples divers.* — On peut conclure actuellement que plus le liquide employé est dense, ou plus le corps est léger, moins le volume déplacé est grand; par conséquent, le corps flottant s'enfonce d'autant moins, que le liquide sur lequel il nage est plus dense comparativement à lui.

Tous les corps qui, sous un volume déterminé, pèsent moins qu'un pareil volume de tel ou tel liquide, peuvent flotter à la surface de ce liquide. Ainsi, le fer, le cuivre, le marbre, le verre, tous les corps en général, à l'exception du platine, de l'or et de quelques métaux peu communs, étant spécifiquement plus légers que le mercure, peuvent flotter sur ce liquide. Un grand nombre de corps peuvent flotter aussi sur les divers métaux en fusion, et c'est ce qui détermine les crasses, les scories, à se porter à la surface des métaux fondus.

Tous les corps qui sont spécifiquement plus légers que l'eau, comme la plupart des bois, le liége, la cire, les graisses, les huiles, etc., peuvent flotter à la surface de ce liquide. Il peut arriver qu'un corps, après avoir flotté pendant quelque temps à la surface de l'eau, s'y enfonce ensuite; c'est ce qui a lieu à l'égard des bois: mais on conçoit facilement que c'est parce que ces corps imbibent le liquide.

L'esprit-de-vin étant spécifiquement très-léger, il y a très-peu de corps qui puissent flotter sur lui; ainsi

ainsi la cire, les graisses, les huiles grasses qui flottent facilement sur l'eau, plongent dans l'esprit-de-vin ; il n'y a que le liége et quelques espèces de bois, comme le peuplier, le sapin, le saule, etc., qui soient dans le cas d'y flotter.

Comme les liquides varient de densité par les changemens de température, il peut arriver qu'un corps qui flotte sur un liquide à une basse température, ne puisse plus y flotter lorsque la température est plus élevée. C'est ce qui a lieu, par exemple, à l'égard de certains morceaux de buis qui flottent sur l'eau froide et plongent dans l'eau bouillante.

Lorsque l'eau tient un sel en dissolution, sa densité est augmentée, de sorte que beaucoup de corps qui ne flottent pas sur l'eau pure, peuvent flotter sur l'eau salée. Nous pouvons, à ce sujet, citer une expérience connue de tout le monde, celle d'un *œuf* qui flotte sur une dissolution de sel et qui plonge dans l'eau douce. C'est par la même raison, qu'un bâtiment chargé fortement peut voguer en sûreté sur la mer, et être submergé lorsqu'il vient ensuite à entrer dans une rivière : cet accident est arrivé quelquefois.

(331) *De la natation.*—Le corps de l'homme est ordinairement spécifiquement un peu plus léger que l'eau douce, de sorte qu'il flotte naturellement sur ce liquide ; à plus forte raison flotte-t-il sur les eaux salées : tout le monde peut éprouver qu'il est plus facile de nager dans la mer que dans les eaux douces.

Les personnes grasses, en général, flottent plus facilement que les maigres ; il y a même des personnes qui ne peuvent pas s'enfoncer dans l'eau, et qui, sans le vouloir, se tiennent à sa surface avec la plus grande facilité.

Malgré cela, en général, il y a toujours quelques précautions à prendre pour éviter de plonger le visage dans l'eau ; c'est en cela, et à avancer sur le liquide, que consiste l'art du nageur. On se tient très-bien sur le dos sans

faire aucun mouvement, surtout si on a les jambes un peu enfoncées.

Si les animaux paraissent avoir, pour nager, plus d'avantages que l'homme, ils les doivent à la disposition naturelle de leur corps : le train de derrière est chez eux plus lourd que celui de devant ; de sorte qu'ils peuvent, sans un grand effort, tenir toujours leur tête hors de l'eau et respirer librement. Dans l'homme, au contraire, la partie antérieure du corps, et surtout la tête, est la plus lourde, de sorte que c'est la tête qui tend à plonger la première, et qu'il faut une étude particulière pour la soutenir au-dessus de l'eau, afin de pouvoir respirer.

(332) *Influence de la forme des corps sur leur flottaison.* — On peut aussi faire flotter tous les corps, quelque lourds qu'ils puissent être, à la surface de tous les liquides, en leur donnant une forme telle qu'avec peu de poids ils puissent présenter un grand volume. Par exemple, une masse métallique s'enfonce dans l'eau, parce que, déplaçant peu de liquide, la pression qu'elle subit de bas en haut, ne peut faire équilibre à celle que son poids exerce de haut en bas ; mais si, au lieu de laisser cette quantité de métal en masse, on la dispose en sphère creuse à parois minces, elle déplacera un volume d'eau considérable, et sera dès lors poussée de bas en haut avec une force qui pourra non seulement faire équilibre à son poids, mais même la chasser en partie hors du liquide. C'est ainsi qu'on peut faire flotter sur l'eau des boules métalliques très-lourdes.

On sent facilement qu'une plaque de métal parfaitement plane, ne pourrait flotter à la surface d'un liquide, parce qu'en cet état elle ne déplace pas plus d'eau que lorsqu'elle est rassemblée en masse ; mais si on relève ses bords, si on lui donne d'une manière ou d'une autre, la forme concave, le volume liquide qu'elle déplacera sera plus considérable et pourra être capable de la soutenir ; c'est ainsi qu'une timballe, un gobelet, la plupart des

vases dont nous nous servons habituellement, flottent avec facilité à la surface de l'eau.

Les corps qui peuvent naturellement flotter à la surface de l'eau, comme la plupart des bois, y flottent encore plus facilement lorsqu'on les dispose sous des formes concaves ; c'est ce que l'expérience a appris, depuis long-temps, à tous les peuples qui, au lieu de faire de simples planchers flottans, ont donné à leurs barques, à leurs chaloupes, etc., les formes que nous connaissons.

(333) *Emploi des corps flottans pour le transport des fardeaux.* — Tout le monde sait qu'en joignant un corps lourd avec un corps qui flotte naturellement, on peut parvenir à faire flotter leur ensemble ; c'est ce que font souvent les personnes qui apprennent à nager, en se mettant un plastron de liége sur la poitrine, ou adaptant à leur corps, d'une manière quelconque, des vessies gonflées d'air. On fait, en quelque sorte, une semblable opération lorsqu'on emploie un bateau pour transporter, par eau, des objets quelconques, d'un endroit dans un autre.

En général, un corps flottant peut toujours porter une certaine charge, d'autant plus grande que ce corps s'enfonce moins par son propre poids dans le liquide. Cette charge peut être disposée à la partie supérieure du corps flottant, comme cela se pratique ordinairement ; mais on pourrait aussi, dans quelques cas, l'attacher d'une manière quelconque à sa partie inférieure ; on y trouverait cet avantage que la charge, perdant une partie de son poids par l'immersion, peserait moins sur le corps flottant.

(334) *Emploi des corps flottans pour soulever des masses placées au fond du liquide.* — Les corps flottans peuvent être employés avec avantage, pour soulever des corps qui se trouveraient au fond de l'eau, et auxquels ils seraient joints par des cordes ou des chaînes : cela peut se faire de deux manières, que nous allons indiquer.

Supposons que la boule creuse, *fig.* 100, qui flotte à la surface de l'eau soit attachée par une chaîne au corps A :

tant que le niveau de l'eau restera à la même hauteur, le corps A ne subira aucun dérangement ; mais si le niveau vient à s'élever, la boule tendant à s'élever aussi avec une certaine force, agira sur le corps et pourra l'entraîner, si son poids n'est pas trop considérable. Si le niveau de l'eau vient ensuite à baisser, le corps A reprendra de lui-même sa première position.

On emploie souvent ce moyen *pour entretenir l'eau à un niveau constant dans un bassin* : la boule creuse est alors attachée par une chaîne à la vanne qu'on veut faire mouvoir pour évacuer le liquide surabondant. Vient-il un orage qui amène une grande quantité d'eau et élève le niveau ? la boule soulève la vanne et le liquide s'échappe. La vanne est soulevée d'autant plus haut que le niveau s'élève davantage, et par conséquent il se forme une issue proportionnée à l'affluence des eaux.

Lorsqu'un navire est envasé sur la côte, on peut employer un moyen semblable pour le remettre à flot, s'il se trouve dans un endroit où il y ait une marée assez forte. Pendant que la marée est basse, on passe des cordes sous le navire, et on attache ces cordes à des chaloupes ; lorsque la marée monte, les chaloupes s'élèvent, et bientôt, par la force qu'elles exercent, elles dégagent le vaisseau, qui de lui-même alors se remet à flot.

(335) Tout ce que nous venons de dire suppose que le niveau de l'eau, d'abord à une certaine hauteur, puisse ensuite s'élever encore; mais, si cette circonstance ne se présente pas toujours, il existe un autre moyen analogue de parvenir au même but.

Un bateau peut être chargé au point de s'enfoncer considérablement dans l'eau; si, pendant qu'il est ainsi chargé, on l'attache fortement avec des cordes à un corps qui se trouve au fond du liquide, il est évident, qu'à mesure qu'on le déchargera, il exercera sur ce corps un effort égal au poids qu'on lui enlevera; il pourra donc arriver un point où le bateau soulevera le corps, s'il n'est pas trop

pesant. On a souvent employé ce moyen pour tirer du fond des eaux un bâtiment ou un corps lourd quelconque, qui y était submergé, et le mettre en état d'être amené à bord. Pour parvenir à ce but, des plongeurs passent des cordes sous le bâtiment ou le corps proposé ; on attache ensuite ces cordes à des bateaux remplis de pierres, ou d'eau, placés symétriquement de chaque côté et au-dessus du corps, et on les tend fortement. Cela fait, on vide ces bateaux qui, devenant plus légers, s'élèvent et soulèvent le corps.

On emploie le même moyen pour soulever un peu un vaisseau et le faire passer par-dessus un banc de sable (*).

Des aréomètres. (**)

Un corps qui flotte sur un liquide, en déplace un volume dont le poids est égal au sien (325); il s'enfonce d'autant plus que le liquide est moins dense. C'est sur ces principes qu'est fondée la construction des aréomètres.

(*) On dit que sur la Loire on emploie un autre moyen pour faire passer facilement un bateau par-dessus les bancs de sable mouvans dont ce fleuve est encombré. Soit fig. 109, A B C D E F le plan horizontal du bateau ; on fixe à une extrémité de ce bateau des pièces de bois qui peuvent se mouvoir en C et E comme sur un axe, et s'appliquer le long des parois B C, F E ; arrivant au-dessus d'un banc de sable, soit en descendant, soit en montant, les bateliers poussent ces pièces de bois et leur font faire un angle avec le flanc du bateau, comme l'indique la figure. L'eau vient alors s'engouffrer dans cette ouverture et s'y élève d'une certaine quantité au-dessus du niveau qu'elle conserve partout ailleurs ; par ce moyen, le bateau se trouve assez soulevé pour passer au-dessus du banc de sable.

(**) L'expression *aréomètre* est dérivée de *ἀραιὸς léger* et de *μέτρον mesure*, comme qui dirait *mesure de légèreté* ; parce que l'aréomètre fait connaître combien une liqueur est plus légère ou plus pesante qu'un autre.

(336) ***Aréomètre de Fahrenheit***, *fig.* 110. — C'est un tube de verre cylindrique, lesté en A et surmonté en B d'une petite cuvette. Ce tube est marqué en C d'un trait.

Cet instrument, en vertu de son propre poids, s'enfonce dans les liquides, d'une certaine quantité. En ajoutant des poids dans la cuvette, on peut, dans tous les cas, le forcer à plonger précisément jusqu'en C, ce qu'on nomme *affleurer*. Il peut, dès lors, servir à déterminer très-facilement les pesanteurs spécifiques des liquides.

En effet, le poids de l'instrument, plus celui qu'il faut ajouter dans la cuvette B pour faire affleurer dans l'eau distillée, est le poids du volume d'eau déplacée; de même le poids de l'instrument, plus celui qu'il faut ajouter pour faire affleurer dans un autre liquide, est le poids du volume liquide déplacé. Or, ces volumes sont égaux; on a donc le poids de l'eau et celui du liquide proposé sous le même volume; par conséquent, en prenant le rapport $\frac{p'}{p}$ de ces deux poids, on a la pesanteur spécifique du liquide employé comparativement à l'eau distillée.

(337) ***Aréomètre de Baumé***, *fig.* 111. — C'est un tube de verre lesté en A et gradué de manière à ce que les divisions indiquent des centièmes de tel ou tel sel, de tel ou tel acide, d'esprit de vin, etc., mélangés avec l'eau pure. Il est connu dans les ateliers sous le nom de *pèse-liqueur*.

Pour former cet instrument, on le plonge d'abord dans l'eau distillée, et on marque zéro au point où il reste en équilibre; on le plonge ensuite dans une dissolution qui renferme 1 centième de son poids de sel (*nous prendrons le sel commun pour exemple*), puis dans une autre qui renferme 2 centièmes, etc.; à chaque opération il s'enfonce successivement moins dans le liquide; on a soin de marquer un trait à l'endroit où il s'arrête: on parvient de cette manière à avoir une échelle dont les divisions indiquent des centièmes de sel.

On opère absolument de la même manière pour chaque

espèce de sel; car, il faut observer que pour chaque espèce, il faut avoir un instrument *ad hoc* ; c'est-à-dire, que l'instrument divisé pour le sel marin, ne peut pas servir pour le salpêtre, celui ci pour l'alun, etc. On fera aussi, de la même manière, les instrumens destinés aux mélanges d'eau et d'acides, d'eau et d'esprit de vin, etc. ; mais il faut remarquer que les acides, l'esprit de vin, etc., n'existant point sans eau, il est nécessaire de choisir, dans chacun d'eux, un étalon qui contienne le moins d'eau possible, et de le mêler alors successivement par centièmes à l'eau distillée.

(338) *Exemple de l'utilité de cet aréomètre.* — Quand on achète de l'esprit de vin, par exemple, il est utile, pour ne pas être trompé, de connaître quelle est la quantité d'eau qui s'y trouve mêlée. Supposons que dans la liqueur proposée, l'aréomètre marque 25 degrés, on en conclura que dans ce liquide, il n'y a que les $\frac{25}{100}$, du poids total, de l'esprit de vin qui a servi d'étalon ; de sorte que, si on achète une barique de 400 kilog., on ne devra payer que les $\frac{25}{100}$, ou 100 kilog. d'esprit de vin pur qu'elle renferme, tout le reste étant de l'eau.

Cet instrument sert aussi dans les atteliers, pour avertir, dans les dissolutions salines, de l'approche du degré de concentration où on doit faire telle ou telle opération.

Il est bon d'avertir que la plupart des aréomètres, ou pèse-liqueurs, qu'on trouve chez les petits marchands, sont de très-mauvais instrumens.

(339) *Aréomètre de Nicholson.* — Nicholson a imaginé de faire servir l'aréomètre de Fahrenheit à la détermination des pesanteurs spécifiques des corps solides. Il le construit en fer blanc, et y ajoute un bassin mobile A, *fig.* 112.

Soit *a* le poids qu'il faut mettre dans le bassin supérieur pour affleurer l'instrument. Après avoir ôté ce poids, on y substitue le corps proposé ; si ce corps est capable aussi de faire affleurer exactement, on en conclura que son

poids p est égal à a; mais cela arrivera très-rarement, et il faut même, en général, prendre une portion du corps dont le poids soit plus petit que a. Dès lors, il faudra ajouter à côté de ce corps un petit poids b pour faire affleurer, et on aura $p + b = a$, d'où $p = a - b$ pour le poids cherché.

On plongera ensuite le corps dans le bassin inférieur; il y perdra une partie de son poids, conséquemment l'instrument ne sera plus affleuré, et il faudra ajouter à côté du poids restant b, un certain poids c qui exprimera évidemment la perte que le corps a fait dans l'eau, c'est-à-dire, le poids du volume d'eau déplacé; on pourra donc établir la proportion c (poids de l'eau) : $a - b$ (poids du corps) : : 1 (pesant. spécif. de l'eau): a (celle du corps); $x = (\frac{a-b}{c})$, pesanteur spécifique demandée.

(340) Si on connaît le poids de l'instrument et le poids du volume d'eau distillée qu'il déplace lorsqu'il est affleuré, on pourra déterminer la pesanteur spécifique d'un corps avec quelque liquide que ce soit. D'abord, on déterminera la pesanteur spécifique de ce liquide (337); soit d cette pesanteur; on déterminera ensuite le poids du corps $a - b$, ainsi que la perte c qu'il fait dans le liquide proposé; puis on établira la proportion c (poids du liquide) : $(a - b)$ (poids du corps) : : d (pesant. spécif. du liquide) : x; d'où $x = (\frac{a-b}{c})\, d$. En substituant à d sa valeur déterminée ci-dessus, on aura la pesanteur spécifique du corps, comme si on eût employé l'eau distillée.

Cette méthode peut être utile en voyage, où l'on n'a pas toujours de l'eau distillée à sa disposition; on a soin de graver sur l'instrument son poids et celui du volume d'eau distillée qu'il déplace, afin de ne les pas oublier.

CHAPITRE X.

De l'ascension ou de l'abaissement des liquides autour des corps qui y sont plongés.

(341) *Lorsqu'on plonge dans un liquide un corps susceptible d'en être mouillé*, ce liquide s'élève autour de lui au-dessus de son niveau, en décrivant une courbe concave, comme *fig.* 113 ; c'est ce qui arrive lorsqu'on plonge une lame de verre dans l'eau, une lame d'or ou d'argent dans le mercure.

(342) *Lorsque le corps plongé n'est pas susceptible d'être mouillé par le liquide*, celui-ci s'abaisse autour de lui en décrivant une courbe convexe, comme *fig.* 114; c'est ce qui a lieu lorsqu'on plonge une lame de verre dans le mercure, ou une lame de verre enduite d'une légère couche de graisse dans l'eau.

(343) *Il y a des corps autour desquels le liquide conserve sensiblement son niveau*; cela arrive toutes les fois que l'attraction des particules liquides entr'elles est égale à l'attraction mutuelle de ce liquide et du corps qu'on y plonge. Par exemple, en plongeant dans l'eau une lame d'acier poli, le liquide conserve sensiblement son niveau ; en plongeant, dans du mercure bien privé d'humidité, une lame de verre bien desséchée (il faut pour cela l'avoir fait chauffer dans du sable), on voit le liquide conserver son niveau autour d'elle. Il paraît donc que l'eau fait à l'égard du mercure, ce que fait la graisse à l'égard de l'eau.

(344) *Si on plonge dans l'eau deux lames de verre* placées vis-à-vis l'une de l'autre et assez rapprochées pour

que les branches des courbes puissent se joindre, comme *fig.* 115, il se forme une surface concave entre les deux lames, et à l'instant, l'eau s'élève entr'elles au-dessus du point où elle se trouve à l'extérieur, et d'autant plus qu'elles sont plus rapprochées.

(345) *Si on plonge ces deux lames dans le mercure*, il se forme entr'elles une surface convexe, et lè métal se tient, à l'intérieur, beaucoup au-dessous du point où il se trouve à l'extérieur, *fig.* 116.

(346) *Si on substitue un tube aux lames de verre*, les mêmes effets ont lieu; l'eau s'élève dans l'intérieur au-dessus de son niveau, d'une quantité d'autant plus considérable, que le tube est plus étroit; au contraire, le mercure s'y abaisse. Ce sont-là les phénomènes des *tubes capillaires*; ils ont lieu aussi dans des tubes beaucoup plus grands que le nom ne semble l'annoncer; mais ils sont plus sensibles dans des tubes très-étroits.

(347) *Causes qui déterminent l'ascension ou l'abaissement du liquide.* — Après ces expériences, on se demande naturellement quelle est la cause qui détermine le liquide à s'élever ou à s'abaisser autour des corps, et à s'élever ou s'abaisser plus entre deux lames ou dans un tube, qu'à l'extérieur. Ces phénomènes ont donné lieu à beaucoup d'hypothèses; nous devons à M. Laplace une explication qui porte avec elle des caractères de vérité.

En vertu de l'attraction moléculaire, les particules de la surface d'un corps tendent à rentrer dans son intérieur. M. Laplace démontre, par le calcul, qu'un corps terminé par une surface courbe, exerce sur les molécules de sa surface une action différente de celle du plan. Cette action est moins forte si la surface est concave, elle est plus forte si elle est convexe.

Si la surface est une portion de sphère, l'action est en raison inverse du rayon.

Si la surface n'est pas une portion de sphère, l'action dépend de la demi-somme des actions de deux sphères

qui auraient pour rayons le plus grand et le plus petit rayon de courbure de la surface au point qu'on a considéré. (*Supplément au* 10.ème *livre de la Mécanique céleste.*)

On peut rendre sensible, par expérience, ces différences d'action du liquide suivant la forme de sa surface. Qu'on prenne un tube recourbé, *fig.* 117, qu'on y introduise de l'eau, on verra le liquide se mettre au niveau dans les deux branches et être terminé de part et d'autre par une surface concave. Qu'on enduise ensuite une des branches d'une petite conche de graisse, on verra le liquide, dans la branche graisseuse, se terminer par une surface convexe, et dans l'autre, par une surface concave; mais on remarquera que dans celle-ci, le liquide s'élèvera considérablement au-dessus de son niveau, dans la première branche, comme *fig.* 117 *a* : il faut donc que dans cette première branche, l'action qui tend à pousser les molécules dans l'intérieur, soit plus forte que dans la seconde.

Avec un pen d'adresse, on pourra déterminer le liquide à conserver une surface plane dans la branche graisseuse, et on verra, dans ce cas, que le liquide de la seconde branche, ne s'élèvera pas autant au-dessus de son niveau, que lorsqu'il était sollicité par une surface convexe.

D'après ces résultats, on reconnaît aisément la cause des phénomènes, En effet, lorsque l'attraction mutuelle des molécules du liquide est plus faible que l'attraction des corps qui y sont plongés, le liquide s'élève d'une petite quantité autour de ces corps, et y forme une très-petite surface concave ; il en résulte que le liquide se trouve sollicité auprès du corps, par une force moindre que celle qui agit sur la surface plane située plus loin; d'où il suit que le liquide doit s'élever auprès du corps et former une surface concave encore plus sensible.

Lorsque deux corps sont assez rapprochés l'un de l'autre pour que les surfaces courbes se croisent, il se forme une surface dont la concavité est encore plus profonde; il faut

donc que le liquide s'élève plus haut entre les deux corps qu'à l'extérieur, et cela jusqu'à ce que la colonne élevée fasse équilibre, par son poids, à la différence d'attraction.

Lorsque l'attraction mutuelle des molécules du liquide est plus forte que l'attraction des corps qui y sont plongés, il se forme entre les parois une surface convexe; il en résulte que le liquide entre les deux corps est sollicité par une force plus grande que celle qui a lieu à la surface plane extérieure : il faut donc que le liquide s'abaisse entre ce corps pour que l'équilibre ait lieu.

Dans les tubes étroits, la surface du liquide approche beaucoup de celle d'une demi-sphère, et ces segmens, dans les tubes de plus en plus étroits, sont à-peu-près semblables : il en résulte que les rayons de courbure sont proportionnels aux diamètres des tubes ; donc, l'action de la surface suit la raison inverse des diamètres des tubes, et par conséquent, l'élévation ou l'abaissement de la colonne liquide sont soumis au même rapport. C'est ce que l'expérience confirme ; car, dans une suite de tubes dont les diamètres sont 1, $\frac{1}{2}$, $\frac{1}{3}$, etc., les élévations ou abaissemens sont 1, 2, 3, etc.

Entre deux lames de verre très-rapprochées l'une de l'autre, l'élévation ou l'abaissement est en raison inverse de la distance des lames ; mais on remarque que *le liquide s'élève entre ces lames moitié moins haut que dans un tube de même diamètre*. C'est ce dont il est facile de se rendre raison ; car l'action de la surface courbe étant la demi-somme des actions de deux sphères qui auraient pour rayons le plus grand et le plus petit rayon de courbure, si le tube s'aplatit, le rayon de courbure correspondant devient infini; ce qui est le cas de deux lames parallèles : la partie d'attraction de la surface réciproque à ce rayon disparaît, et il ne reste que l'action dépendante de l'autre rayon; par conséquent l'action est diminuée de moitié.

(348) ***Une goutte de liquide, placée dans un tube conique dont l'axe est horizontal, se porte vers le***

sommet. — Si le tube était cylindrique, la courbure de la goutte liquide serait la même à ses deux extrémités, et elle resterait stationnaire ; mais, dans un tube conique, la courbure est plus forte du côté du sommet ; de sorte que l'équilibre ne saurait subsister et que le liquide doit se porter du côté de la plus forte courbure.

(349) *Deux lames de verre placées librement dans un liquide tendent toujours à se rapprocher par le haut.* — Concevons un petit canal *bacd*, fig. 115 et 116. Dans le cas de la surface convexe, *fig.* 116, *ba* fait équilibre à *cd*, de sorte que tous les points situés de *e* en *f*, sont également pressés du dedans au dehors et du dehors au dedans ; mais, de *f* en *g*, il ne reste que la pression du dehors au dedans qui, dès lors, sollicite les lames à se rapprocher l'une de l'autre par le sommet.

Dans le cas de la surface concave, *fig.* 115, la colonne *ba* fait équilibre à *cd*, et tous les points de *e* en *f* sont également sollicités du dedans au dehors, et du dehors au dedans ; mais, de *f* en *g*, ils ne sont plus sollicités que par la force attractive de la surface courbe : donc les deux lames doivent encore se porter l'une vers l'autre par le sommet.

(350) *Si on fait flotter sur un liquide deux corps susceptibles d'être mouillés*, il se formera, entr'eux, une courbe concave, *fig.* 118, et ils se porteront l'un vers l'autre. *Si les deux corps ne sont pas susceptibles d'être mouillés*, il se formera entr'eux une courbe convexe, et ils se porteront encore l'un sur l'autre. Si l'un des corps est susceptible d'être mouillé et l'autre point, ils s'écarteront l'un de l'autre. On peut faire ces expériences avec des aiguilles fines qu'on place doucement à la surface de l'eau. Ces aiguilles y flottent en vertu de la petite couche d'air qui adhère à leur surface comme à celle de tous les corps, et qui ne s'en dégage que très-difficilement. En faisant avancer l'une des deux aiguilles vers l'autre, dans une direction oblique, jusqu'à

qu'elle la touche, on voit ces deux corps s'incliner l'un vers l'autre et se joindre dans toute leur longueur; si, à l'instant où le contact s'effectue, les extrémités ne sont pas de niveau, les deux aiguilles glissent l'une sur l'autre, jusqu'à ce que ce niveau soit établi.

(351) *L'ascension des liquides dans l'intérieur des corps* s'explique par l'action capillaire. C'est ainsi qu'un morceau de sucre qu'on plonge, par un coin, dans le café, se trouve en un instant humecté dans tous ses points. C'est par l'action capillaire que l'huile s'élève dans les mèches de nos lampes, etc., etc.

TROISIÈME SECTION.

CORPS LIQUIDES EN MOUVEMENT.

CHAPITRE XI.

Expériences et considérations fondamentales.

(352) *Mouvemens qui ont lieu dans la masse liquide pendant son écoulement hors d'un vase.* — Nous avons déjà vu que pour rester en repos sous l'action de la gravité, les liquides ont besoin d'être soutenus par tous les points qui se trouvent au-dessous de la surface horizontale qu'ils prennent naturellement dans une cavité quelconque; la moindre ouverture permet, par succession, l'écoulement de tout le liquide qui se trouve au-dessus, et il se produit alors dans la masse, divers mouvemens, qu'il est facile de reconnaître en se servant d'un vase de verre, et faisant flotter dans le liquide quelques poussières fines d'un corps dont la pesanteur spécifique excède peu la sienne.

Soit AB, *fig.* 119, un vase de verre de 4 à 5 décimètres de hauteur, percé à son fond d'un petit orifice circulaire; qu'on remplisse ce vase d'eau dans laquelle soient suspendues des particules fines de cire à cacheter; aussitôt qu'on permettra l'écoulement, on verra toutes ces particules entrer en mouvement et tendre vers l'orifice. On remar-

quera 1.° qu'elles descendent verticalement jusqu'à environ un décimètre du fond, et que parvenues en ce point, elles se détournent et viennent de tous côtés gagner l'orifice, en suivant des mouvemens plus ou moins obliques ; c'est ce que représente la fig. 119.

Il en est de même lorsque le liquide sort par une ouverture latérale ; dans ce cas, on remarque non-seulement qu'il vient des particules du liquide situé au-dessus de l'orifice, mais encore que les particules inférieures viennent également gagner l'ouverture par des directions obliques.

2.° On remarque, pendant que le vase se vide, que la surface du liquide s'abaisse en demeurant sensiblement horizontale et parallèle à elle-même, jusqu'à ce qu'elle soit arrivée à quelques centimètres du fond ; alors, il commence à se former, au centre de la surface, un petit entonnoir dont la pointe répond au centre de l'orifice, et dont la cavité s'agrandit de plus en plus jusqu'à la fin de l'écoulement.

(353) Si, avant de permettre l'écoulement, on a d'abord un peu agité le liquide, l'entonnoir se formera beaucoup plus tôt, et même il se manifestera dès le premier moment dans toute l'étendue de la colonne, comme fig. 120, pour peu qu'on ait procuré au liquide un mouvement de rotation ; si le vase est conique et que l'ouverture se trouve au fond de la partie la plus étroite, l'entonnoir se manifestera très-promptement, dans le cas même où le liquide n'a d'autre mouvement que celui qu'y occasionne l'écoulement.

Lorsque l'eau sort par un orifice latéral, il ne se forme pas d'entonnoir, mais la surface liquide subit une déviation du côté de l'orifice.

(354) *Phénomènes qui ont lieu hors du vase, dans la veine liquide.* — Ce qu'il y a de plus important hors du vase est la *contraction de la veine liquide.* Pour l'observer, il faut que l'orifice soit percé en *mince pa-*

rois, c'est-à-dire, dans une plaque mince de métal, et qu'il soit bien net. Dans ce cas, on remarque que la veine liquide ne remplit pas l'orifice, et qu'elle va encore en diminuant jusqu'à la distance d'environ le demi-diamètre de cette ouverture; à ce point, le diamètre de la veine liquide est toujours à-peu-près à celui de l'orifice dans le rapport de 5 à 8, quelle que soit la hauteur du liquide dans le vase. Cette contraction se fait également remarquer lorsque le liquide s'échappe par une ouverture latérale, et même lorsqu'il s'échappe en colonne verticale, comme dans les jets d'eau.

On trouve la cause de ce phénomène dans les mouvemens qui ont lieu à l'intérieur de la masse liquide, où les particules décrivent des courbes qui convergent entr'elles en se présentant leur convexité, et qui ne peuvent se réduire à des lignes droites parallèles qu'à une certaine distance de l'orifice.

Au-delà du point où finit la contraction occasionnée par les mouvemens intérieurs, *si la veine liquide se porte de haut en bas, son diamètre va encore en diminuant*; mais ce fait, que tout le monde a sans doute observé en vidant l'eau d'un vase, est entièrement dû à l'accélération de vitesse que prend le liquide en descendant; car, il faut alors que les particules se séparent, ou que la colonne s'éfile.

Dans les jets verticaux où le liquide se meut de bas en haut, la vitesse, au contraire, étant continuellement retardée, *la veine liquide se gonfle successivement à mesure qu'elle s'élève.*

Souvent aussi la veine liquide a la forme d'une colonne torse; cela a lieu toutes les fois que l'orifice par lequel le liquide s'échappe n'a pas ses bords bien nets, et aussi lorsque le liquide est intérieurement agité de mouvemens différens de ceux que produit l'écoulement. Si la masse liquide est donée intérieurement d'un mouvement de rotation, il se forme au-dehors, en vertu de

la force centrifuge acquise, un entonnoir opposé à celui qui se manifeste au-dedans.

Enfin, la résistance de l'air divise la colonne liquide et lui fait bientôt prendre la forme d'une gerbe composée de gouttelettes brillantes.

(355) *Considérations mathématiques.* — Pour établir complètement la théorie mathématique du mouvement des liquides dans tous les cas qui se présentent, il faudrait pouvoir soumettre à une analyse rigoureuse toutes les circonstances qui influent sur les phénomènes; mais on n'a pu jusqu'à présent y parvenir, et ce n'est que dans quelques cas particuliers, ou en faisant abstraction des circonstances environnantes, qu'on a pu parvenir à quelques résultats utiles.

Vitesse du liquide à l'orifice d'écoulement. — Lorsqu'un liquide sort d'un vase par une ouverture faite au fond ou à la paroi latérale, sa surface reste toujours horizontale jusqu'à ce que le liquide soit arrivé à peu de distance de l'orifice. En partant de là, on partage, par la pensée, la masse liquide en une infinité de petites tranches horizontales, et on considère ces tranches comme conservant leur parallélisme à mesure qu'elles s'abaissent, de sorte que les particules qui les composent aient sensiblement la même vitesse et la même direction dans toute l'étendue de la même couche. Cette hypothèse posée, on démontre qu'au sortir d'un orifice percé au fond d'un vase, et très-petit par rapport au diamètre de ce vase, la vitesse du liquide est précisément celle qu'aurait acquis un corps grave quelconque en tombant de la hauteur du niveau au-dessus de l'orifice; d'où il suit que dans deux vases, où les niveaux sont différens, les vitesses à l'orifice sont comme les racines carrées des hauteurs du liquide au-dessus de lui. Si le niveau du liquide est constant, la vitesse à l'orifice sera constante; si le niveau varie en plus ou moins, la vitesse variera également en plus ou moins; il sera toujours facile de l'évaluer en un ins-

tant quelconque, pourvu qu'on connaisse la hauteur du liquide dans le réservoir. Supposons, par exemple, que cette hauteur soit de 1 mètre, on sait (88, 103) que les corps graves parcourent $4^m,9$ pendant la première seconde de leur chute et qu'ils acquièrent alors une vitesse double de cette hauteur, c'est-à-dire, une vitesse de $9^m,8$ par seconde. Soit donc v la vitesse inconnue du liquide à l'orifice; on fera la proportion $\sqrt{4^m,9} : \sqrt{1^m} :: 9^m,8 : v$ d'où $v=4^m,42$ environ.

Dans le cas où l'orifice est percé à la paroi latérale, on ajoute à l'hypothèse du parallélisme des tranches cette autre supposition que la vitesse des particules, dans le plan horizontal qui passe par le centre de l'orifice, est proportionnelle à la racine carrée de sa distance verticale à la partie supérieure du fluide; d'où il suit que tout ce qu'on a démontré pour l'orifice percé au fond du vase, doit être également appliqué à un orifice latéral.

CHAPITRE XII.

Ecoulement par un orifice percé en minces parois.

(356) *Rapports des dépenses entr'elles.* — Cherchons, d'après la théorie que nous venons d'exposer, les rapports que les dépenses suivent entr'elles dans des vases différens où les orifices et la hauteur du liquide sont quelconques. Il est d'abord évident, que dans le même temps et par des ouvertures égales, les dépenses sont comme les vitesses, et par conséquent comme les racines carrées des hauteurs des liquides; de sorte que, si dans un vase le niveau constant du liquide se trouve à 4 mètres au-dessus de l'orifice, et que dans un autre il se trouve à la hauteur de 1 mètre, les vitesses étant comme $\sqrt{4}$ à $\sqrt{1}$, ou comme 2 à 1, le premier vase fournira, dans un temps donné, une quantité de liquide double de celle que fournira le second.

L'expérience confirme ce résultat. On se sert, à l'effet de démontrer ce résultat par expérience, de deux vases dans lesquels on entretient un niveau constant en y faisant affluer continuellement de nouvelle eau, ou bien en perçant des orifices si petits, relativement au diamètre du vase, que la surface du liquide ne baisse que d'une quantité inappréciable. Au moyen d'un tel appareil, on reconnaît que les orifices étant égaux et les hauteurs étant 1, 4, 9, etc., les dépenses sont entre elles comme les nombres 1, 2, 3, etc., racines carrées des premiers.

Lorsque les hauteurs étant les mêmes, les orifices sont de différens diamètres, il est évident que les dépenses

doivent être entr'elles comme les aires des orifices ; de sorte que, si dans un vase l'orifice d'écoulement est 2, et que dans un autre il soit 1, la dépense du premier vase sera double de celle du second. C'est ce qu'on prouve encore par expérience.

Enfin, les aires des orifices et la hauteur de niveau étant différens dans les différens vases, les dépenses seront entr'elles en raison composée des aires des orifices et des racines carrées des hauteurs du liquide. Ce résultat est pleinement confirmé par l'expérience.

(357) *Quantité de liquide fourni dans un temps donné.* — Les rapports que nous venons de trouver ne nous indiquent rien sur les quantités de liquides fournies dans des tems donnés ; proposons nous maintenant d'évaluer ces quantités pour une ouverture quelconque sous une hauteur déterminée de liquide. Il est évident que cette dépense est en raison de la vitesse, de l'écoulement et de la grandeur de l'orifice ; de sorte que, soient v la vitesse du liquide, a l'aire de l'orifice et d la dépense, on a $d=av$. On évaluera la vitesse d'après la hauteur connue du liquide. Supposons que la hauteur du liquide soit de 1 mètre, on trouvera la vitesse $v=442$ centimètres par seconde ; supposons aussi que l'aire a de l'orifice soit de 4 centimètres carrés ; il passera par seconde 4 fois 442 centimètres cubes de liquide par l'orifice, ou 1768 centimètres cubes : ayant ainsi la dépense dans l'unité de temps, on aura facilement celle en un temps quelconque.

(358) *Ce résultat ne s'accorde pas avec l'expérience ;* car en récoltant la quantité d'eau écoulée pendant une minute, par exemple, par une ouverture de 4 centimètres carrés percée en mince paroi et sous la hauteur constante de 1 mètre de liquide, on ne trouvera à-peu-près que 66300 centimètres cubes ; ce qui donne par seconde 1105 centimètres cubes au lieu de 1768.

Cette différence entre la théorie et l'expérience est due à la contraction de la veine liquide. Les expériences

les plus exactes ont prouvé qne, quelles que soient la hauteur du liquide et la largeur de l'orifice par lequel il s'échappe, la dépense effective est toujours sensiblement les $\frac{5}{8}$ de la dépense théorique : on doit se rappeler qne c'est aussi le rapport, entre le diamètre de la veine contractée et le diamètre de l'orifice. En introduisant cette correction dans le calcul, on a $d = \frac{5}{8}\ av$. Au moyen de cette formule, on calcule avec une exactitnde suffisante la dépense que peut faire, en un temps donné, un réservoir dans lequel le liquide se trouve à une hauteur connue et constante, par une ouverture dont on connaît exactement la surface. Il faut cependant encore supposer que le liquide n'est animé dans le réservoir d'aucun autre mouvement qne de celui qu'y occasionne l'écoulement. S'il était, par exemple, animé d'un mouvement de rotation rapide, il serait fort difficile d'évaluer théoriquement la dépense.

CHAPITRE XIII.

Ecoulement par des tuyaux additionnels.

(359) *Augmentation de dépense par des tuyaux courts.* — L'expérience nous apprend qu'en adaptant un bout de tuyau à l'orifice d'un vase, la dépense peut devenir beaucoup plus grande que par un orifice percé en mince paroi; mais, pour que cet effet ait lieu, il faut 1.° que le liquide puisse contracter une certaine adhérence avec les parois du tube; ainsi l'effet n'a pas lieu, lorsqu'en se servant d'eau, l'intérieur du tube est enduit d'une légère couche de graisse, on lorsque son diamètre est trop grand comparativement à sa longueur; 2.° il faut que l'écoulement se fasse dans un milieu résistant; ainsi, l'effet n'a pas lieu dans le vide.

Si ces conditions sont remplies, le liquide sort à plein tuyau, ou, comme on dit, *à gueule bée*, et c'est alors que la dépense est plus ou moins augmentée, suivant la forme, la longueur et la position du tube.

Pour expliquer ces effets, remarquons que la veine liquide en passant du vase dans le tube est contractée, et qu'elle ne peut remplir ce tuyau, à moins qu'elle n'eprouve en route une résistance qui, en retardant sa vitesse, lui permette de se gonfler : cette résistance est la pression de l'atmosphère qui s'exerce dans le tube en sens inverse du mouvement du liquide; or, cette pression ne peut avoir d'effet qu'autant que l'air ne peut s'introduire entre la paroi du tube et le liquide, c'est pourquoi il est nécessaire qu'il y ait entr'eux une certaine adhérence.

(360) *Pourquoi la dépense est augmentée, malgré la diminution de vitesse.*—Si le tube proposé est cylindrique,

les particules liquides, forcées d'en suivre les parois, décrivent toutes des lignes droites parallèles; ce mouvement se communique jusqu'au réservoir, en vertu de la continuité de la colonne, et il en résulte, dans le réservoir même, des mouvemens moins obliques au plan de l'orifice; d'où il suit que la veine liquide est beaucoup moins contractée que dans le cas d'un orifice percé en mince paroi; et partant, que la dépense doit être plus grande.

Si le tuyau est évasé au dehors, les particules liquides, forcées d'en suivre les parois, divergent en sens opposé des directions qui produisent la contraction de la veine et, dès lors, ont encore plus d'influence pour diminuer l'obliquité de ces mouvemens.

Lorsque la plus large ouverture du tuyau conique est du côté du réservoir, il se présente un cas où la dépense n'est ni augmentée ni diminuée; c'est celui où le tuyau a exactement la forme de la veine contractée, c'est-à-dire, lorsque sa longueur est la moitié de son plus grand diamètre, et que l'orifice extérieur est à l'orifice intérieur dans le rapport de 5 à 8. A mesure que la longueur augmente ou que l'angle du cône devient plus petit (c'est-à-dire, plus le tuyau approche d'être cylindrique), la dépense devient plus grande; au contraire, si l'angle du cône devient plus grand, la dépense diminue.

(361) *Quantité d'augmentation de dépenses.* — Dans le cas d'un tuyau cylindrique, de quelques centimètres de longueur, horizontale ou verticale au-dessous du plan de l'orifice, la dépense est à celle qui aurait lieu par un orifice percé en mince paroi, comme 13 est à 10, de sorte que la formule $d = \frac{5}{8} av$ (364) devient $d = \frac{13}{10} \cdot \frac{5}{8} av = \frac{13}{16} av$, au moyen de quoi on pourra calculer la dépense, connaissant l'aire de l'orifice et la hauteur du liquide dans le réservoir.

Lorsque le tuyau additionnel est évasé au dehors, la dépense est beaucoup plus grande et peut même surpasser

le double de celle qui aurait lieu par un orifice percé en mince paroi.

(362) *Effets des longs tuyaux.* — Lorsque les tuyaux additionnels sont beaucoup plus longs que ceux que nous venons de citer, il faut, pour évaluer la dépense, faire attention à diverses autres circonstances que nous allons décrire succinctement.

Si on a un tuyau cylindrique, incliné ou vertical au-dessous du centre de l'orifice, la vitesse de la colonne liquide qu'il renferme est accélérée par l'action de la pesanteur; dès lors, en vertu de l'adhésion aux parois qui s'oppose à ce que la colonne s'éfile, en vertu de la cohésion des particules et de la pression de l'atmosphère qui s'opposent à ce que les tranches se séparent, les parties inférieures, qui ont le plus de vitesse, exercent une *traction* sur les supérieures et accélèrent leur mouvement; l'effet se communique de proche en proche jusqu'au réservoir; et comme les parties supérieures ralentissent, par la même raison de continuité, la marche des inférieures, il s'établit une vitesse moyenne sur toute la longueur du tuyau. Plus le tuyau est long, plus la dépense est considérable, au moins jusqu'à un certain point, passé lequel elle commence à diminuer, ce qu'on doit attribuer au frottement.

On a trouvé par expérience qu'en donnant au tuyau une certaine inclinaison, plus ou moins grande suivant son diamètre, et qui n'est jamais très-considérable, l'accélération successive de vitesse fait équilibre au retard continuel qu'occasionne le frottement; alors, en quelqu'endroit de sa longueur que ce soit, le tuyau fait toujours la même dépense: c'est pour cela qu'on donne toujours, autant que l'on peut, une certaine inclinaison aux tuyaux de conduite.

Lorsque le tuyau cylindrique est horizontal, le liquide tend à conserver le même degré de vitesse sur toute la longueur, de sorte que partout la dépense devrait être la même; mais ici le frottement répété sur un long espace, retarde considérablement la vitesse, et à tel poin

qu'il peut arriver que l'écoulement ne se fasse plus que goutte à goutte.

Il serait bien utile, dans certaines opérations pratiques, de connaître la loi de la diminution de la vitesse dans les tuyaux de conduite; mais on n'a encore, à ce sujet, rien de bien précis; quelques calculs semblent démontrer que cette vitesse est en raison inverse de la racine carrée de la longueur du tuyau.

On a reconnu que *les tuyaux d'un petit diamètre diminuent beaucoup plus la dépense que ceux d'un diamètre plus grand*; la raison en est facile à concevoir: le frottement ne se fait sentir immédiatement qu'aux particules qui touchent la paroi, et son effet pour ralentir la vitesse diminue nécessairement de la circonférence au centre; en sorte que plus le diamètre est grand, moins les particules centrales sont ralenties.

Les contours brusques que présentent les tuyaux de conduite sont des obstacles qui, occasionnant des chocs réitérés, détruisent une partie de la vitesse acquise; mais il faut encore distinguer le cas où les sinuosités sont sur un plan horizontal ou dans un plan vertical; dans ce dernier cas, *fig.* 121, il s'accumule souvent aux sommités *a, b, c*, etc., des courbures, une certaine quantité d'air qui rompt la continuité de la colonne et qui l'empêche d'avancer quelle que soit la pression de l'eau supérieure: c'est pour remédier à cet inconvénient que, dans les conduites d'eau, on pratique des ventouses aux sommités des coudes les plus élevés.

CHAPITRE XIV.

Pression des liquides en mouvement sur les parois des tuyaux.

(363) *Le liquide étant équilibre.*— Quelle que soit la position du tuyau proposé par rapport au réservoir, si son orifice extérieur est bonché, la vitesse du liquide étant zéro, la pression en chaque point de sa paroi est égale au poids de la petite colonne liquide verticale qui lui correspond dans le réservoir (chap. 7); mais il n'en est pas de même lorsque le liquide est en mouvement.

(364) *Le liquide étant en mouvement.* — Le raisonnement et l'expérience prouvent que, si, dans un tuyau quelconque, la colonne liquide en mouvement possède toute la vitesse qui doit résulter de la hauteur du niveau dans le réservoir, la paroi de ce tuyau doit subir *zéro* de pression; si la vitesse de la colonne liquide est plus petite que celle que nous venons de citer, la paroi du tuyau doit supporter une pression plus ou moins grande, ou, selon le langage mathématique, la *pression* doit être *positive* : enfin, si la vitesse du liquide est plus grande que celle qui doit résulter de la hauteur du niveau, la pression sur la paroi du tuyau devient négative. C'est ce dont il est facile de se convaincre par expérience.

1er cas. *Le liquide possédant toute la vitesse qu'il peut avoir.* — Qu'on adapte au réservoir un tuyau horizontal de peu de longueur, à la partie supérieure duquel on perce un petit orifice; on verra que le liquide, mis en mouvement par l'action de la colonne qui lui correspond verticalement dans le réservoir, ne forme point de jet d'eau au-dessus de l'orifice; preuve évidente que la paroi du tuyau ne supporte aucune pression.

Nous supposons ici l'orifice percé à la paroi supérieure du tuyau ; et, en effet, si on le perçait à la paroi inférieure, il pourrait y avoir un petit écoulement goutte à goutte, car cette paroi supporte une certaine pression, en vertu de l'épaisseur de la colonne liquide. Cette pression est précisément la même que si ce liquide était en repos, et qu'il ne communiquât avec aucun réservoir où le niveau fût plus élevé que le diamètre du tuyau. Quelques physiciens ont cependant admis le contraire à l'égard des fluides aériformes, pour parvenir à expliquer l'abaissement de la colonne barométrique pendant les ouragans; mais ce phénomène s'explique d'une autre manière (Voyez livre 4, chap. 9.)

2.e CAS. *La vitesse du liquide étant plus petite qu'elle ne devrait l'être.* — Qu'on mette, dans l'intérieur du tube, quelque obstacle qui puisse ralentir la vitesse qui résulte de la hauteur du niveau dans le réservoir ; on verra le liquide s'élancer par l'orifice sous la forme d'un jet qui s'élevera d'autant plus haut que la vitesse aura été plus diminuée. L'effet que produit ici l'obstacle volontaire est produit également par le frottement lorsque la longueur du tuyau est assez considérable.

3.e CAS. *La vitesse du liquide étant plus grande.* — Pour prouver que la pression peut devenir négative, qu'on place au réservoir un tuyau cylindrique incliné ou vertical au-dessous du centre de l'orifice, et qu'on y fasse aussi une petite ouverture ; on remarquera, tant que l'écoulement aura librement lieu, que l'air entre par la petite ouverture avec sifflement ; le même effet est produit dans un tuyau évasé à l'extérieur et placé horizontalement.

On peut aussi faire cette expérience d'une autre manière ; pour cela on adapte au petit orifice un tube courbé qui plonge dans un vase rempli d'eau, comme *fig.* 122 ; on voit alors, aussitôt qu'on permet l'écoulement en A, le

liquide du vase *a* s'élever par le tube *ab* pour venir passer dans le tuyau BA.

(365). *Bélier hydraulique.* — Lorsqu'nn liquide est en mouvement dans un tuyan, si, tont-à-coup, on ferme l'ouverture par laquelle il s'échappe, la force dont il est animé ne pouvant s'anéantir exerce son action sur tous les points de la paroi : il en résulte sur cette paroi une pression d'antant plus grande que la masse liquide en mouvement est plus considérable et qu'elle se meut plus rapidement. S'il se trouvait un orifice en quelque point du tuyau de conduite, il en sortirait nn jet d'eau qui s'éleverait, au premier moment, beancoup plus haut que le niveau du liquide dans le réservoir. Cet effet a été employé d'une manière très-ingénieuse par le célèbre Montgolfier (*), pour construire une machine très-simple, propre à élever l'eau à une hauteur indéfinie, qu'il a nommé *bélier hydraulique*, à cause des chocs successifs que produit le jeu des soupapes.

(*) Joseph Montgolfier naquit en 1740 à Vidalou-les-Annonay (*Ardèche*), et mourut en 1810. Il se laissa entraîner de bonne heure à son génie naturel et prit l'habitude de méditer sur tous les objets qui se présentaient à lui; il se forma ainsi, dans tous les genres de sciences qu'il étudia, des méthodes particulières qui l'ont conduit à de brillantes découvertes. Il avait pour principe, que pour étudier une science avec fruit il fallait la créer.

Montgolfier réalisa le premier l'idée jusqu'alors chimérique, de s'élever dans les airs, par l'invention d'une machine qui a reçu son nom (Voy. Liv. 5, chap. 5) et qui a conduit M. Charles à la découverte des ballons de gaz hydrogène (*air inflammable*) dont nous nous servons aujourd'hui. Il apporta dans les arts une multitude d'applications des sciences physiques, d'inventions et de perfectionnemens dont nous aurons occasion de citer quelques-unes. Le bélier hydraulique est une de ses inventions les plus utiles à la société.

Description du bélier.—Cette machine, telle que la construit aujourd'hui M. Mongolfier fils, est représentée, *fig.* 123, où l'on voit la coupe longitudinale, la coupe transversale et la coupe horizontale. AB est un tuyau horizontal d'une certaine longueur qui communique, d'un côté, avec un réservoir AC, et qui se termine à l'autre par un évasement horizontal et circulaire. D, D,... sont des ouvertures circulaires qui peuvent être fermées de bas en haut par des globes de porcelaine qui peuvent s'y appliquer exactement. Ces globes sont retenus immédiatement au-dessous de chaque ouverture par des brides.

E est une cloche de fonte au bas et aux parties latérales de laquelle sont des cavités I; (*coupes transversale et horizontale*) dans lesquelles communique un tuyau FG qui s'élève jusqu'au point où on desire porter l'eau. H sont des globes de porcelaine retenus par des brides au-dessus des ouvertures correspondantes, et qui, en se soulevant de bas en haut, permettent au liquide de pénétrer dans la cloche. K est un petit réservoir d'air qui communique avec le tuyau de conduite AB, et que M. Montgolfier fils, a trouvé nécessaire pour faciliter le jeu des soupapes.

Tout l'appareil est soutenu par une pièce de bois qui s'appuie par son extrémité sur une maçonnerie destinée à fixer solidement la tête du bélier.

Jeu du bélier. Aussitôt qu'on établit une communication entre le réservoir CA et le tuyau AB, le liquide entre en mouvement; il commence d'abord par s'écouler par les ouvertures D, D...; mais bientôt il pousse les globes de porcelaine de bas en haut, les applique contre les ouvertures, et par ce moyen se ferme à lui-même le passage; alors, il se fait, sur tous les points de la paroi intérieure du tuyau, une pression considérable en vertu de laquelle les globes H, H sont soulevés, de sorte qu'il passe une certaine quantité d'eau dans la cloche. Cette eau tombe dans les cavités I, et de là s'élève dans le tuyau FG.

Après ce premier effet, la vitesse acquise du liquide se

trouvant réduite à zéro, les soupapes H se ferment en vertu de leur poids; au contraire les soupapes D s'ouvrent en vertu de leur poids et de la force élastique qui se manifeste à l'instant du choc contre les parois des ouvertures. L'écoulement par les ouvertures D recommence alors pendant quelques instans, puis ces ouvertures sont refermées de nouveau, et il se fait sur les parois du tuyau, une nouvelle pression qui soulève les soupapes H; de sorte qu'il passe encore une certaine quantité d'eau dans la cloche; et ainsi de suite.

L'écoulement à l'extrémité G serait naturellement intermittant, comme le jeu des soupapes; mais la portion d'air enfermé dans la cloche se comprime successivement, et exerce ensuite à la surface de l'eau, en vertu de son élasticité, une pression qui rend le jet continu.

Au moyen de cette machine, la plus simple et la moins dispendieuse qu'on connaisse, et qui n'exige que très-peu de réparations, on peut utiliser la plus faible chute d'eau pour élever une certaine quantité de liquide à telle ou telle hauteur, selon les besoins. Cette machine est déjà employée dans beaucoup d'endroits où elle remplace, avec avantage, des machines hydrauliques, souvent très-compliquées, et toujours très-dispendieuses tant par leur construction que par leur entretien (*).

(*) M. Montgolfier fils a fait beaucoup de perfectionnemens au bélier hydraulique, en sorte que, comme toutes les inventions, il est très-loin aujourd'hui de ce qu'il était dans l'origine.

Le prix de cette machine peut être établi, d'une manière générale, en partant du prix de 60 fr. pour l'élévation de 13 litres d'eau* par minute (plus de 187 mètres cubes d'eau en 24 heures), à une hauteur double de celle de la chute qui sert

* On se rappelera que le litre est un décimètre cube (87). L'hectolitre vaut 100 litres et par conséquent 1 mètre cube.

CHAPITRE XV.

Des eaux jaillissantes.

(366) *Hauteur théorique du jet.*—Un corps pesant qui est tombé d'une certaine hauteur, possède une vitesse capable de lui faire parcourir dans le même temps une espace double, si la pesanteur cessait tout-à-coup d'agir sur lui. Si la pesanteur continue son action, elle augmentera ou diminuera la vitesse acquise de toute la hauteur parcourue ; de sorte que si au second instant, le corps se meut de haut en bas, il parcourera un espace triple de celui qu'il a parcouru dans le premier (88); au contraire, s'il se mèut de bas en haut, il ne parcourera qu'un espace égal à celui d'où il est tombé, après quoi il tombera de nouveau. C'est précisément le cas d'un jet d'eau qui s'élance dans l'air, et qui ne peut ordinairement s'élever plus haut que le niveau du liquide dans le réservoir qui le fournit. Mais il existe, en outre, divers obstacles qui s'opposent à ce que le jet parvienne même à cette hauteur.

(367) *Obstacles qui s'opposent à l'élévation du jet.*—Le plus grand de ces obstacles est la résistance de l'air au milieu duquel le jet s'élance, et qui est d'autant plus grande que la vitesse l'est elle-même plus.

---

de moteur, et augmentant le prix en proportion de la hauteur à laquelle on veut élever le liquide, et de la plus grande quantité qu'on en desire. Par exemple, soit une chute d'eau de 2 mèt., la machine qui éleverait 13 litres d'eau par minutes, à la hauteur de 4 mètres, coûterait 60 fr.; celle qui éleverait la même quantité de liquide à 8 mètres, coûterait 120 fr. etc. Si on desirait une fourniture double, triple, etc., de celle que nous avons prise pour exemple, il faudrait doubler, tripler etc., les prix.

Un autre obstacle, dans les jets verticaux, vient de ce que les particules liquides qui retombent, choquent directement celles qui s'élèvent, et retardent nécessairement leur vitesse; aussi observe-t-on, qu'en inclinant un peu le jet, il s'élève un peu plus haut que quand il est exactement vertical; mais alors il perd du côté de l'agrément, en ne formant plus cette belle gerbe qui flatte l'œil.

La hauteur du jet est encore diminuée par le frottement qui a lieu dans les tuyaux de conduite, et par celui qui se manifeste à l'orifice. Elle dépend aussi de la forme de l'ajutage, et de son diamètre relativement à celui du tuyau de conduite.

Pour la forme de l'ajutage, l'expérience a appris qu'un orifice percé en minces parois, est ce qu'il y a de plus convenable pour procurer au jet une plus grande élévation. L'ajutage cylindrique doit être rejeté, parce qu'il diminue la vitesse et par conséquent, la hauteur du jet; l'ajutage coniqne doit l'être également, quoiqu'il soit souvent employé dans la pratique; mais l'expérience prouve que le jet s'élève beaucoup moins haut, à moins que ce cône n'ait les dimensions de la veine contractée, auquel cas il est absolument inutile.

Nous avons déjà vu (354), qu'en vertu de l'action de la gravité, la colonne jaillissante, retardée dans sa marche, se gonflait successivement; d'où il résulte que les molécules supérieures pèsent alors sur les inférieures, et retardent nécessairement leur marche; c'est encore un obstacle qui s'oppose à ce que le jet parvienne à la hauteur que donne la théorie, en faisant abstraction de toutes les circonstances environnantes.

Les mouvemens qui peuvent avoir lieu, ou qu'on produit exprès dans le réservoir, ou dans les tuyaux de conduite, font varier la forme de la colonne jaillissante; on emploie quelquefois ces moyens, et beaucoup d'autres qui tiennent à la disposition ou à la longueur et à la forme des ajutages, pour produire des effets agréables à la vue.

(368) *Moyen de faire élever les jets plus haut que le niveau du réservoir.* — Pour faire élever les jets d'eau beaucoup plus haut que le niveau du réservoir; il suffit de faire arriver un courant d'air au centre de l'ajutage; l'air en se mêlant avec l'eau, forme un tout spécifiquement plus léger, et le jet s'élève alors beaucoup plus haut que ne le donne la théorie précédente. Ce qu'il y a de remarquable dans cette expérience, c'est le bruit occasionné par le choc des particules de l'air, contre celles de l'eau : ce bruit est un son approchant de celui de l'harmonica, mais moins doux. Si on vient à interrompre l'écoulement de l'eau par l'ajutage, l'air, qui sort alors seul, ne produit plus qu'un petit sifflement (*).

---

(369) Nous ne parlerons point ici de l'écoulement dans les réservoirs qui se vident librement, parce que cela nous entraînerait dans des considérations mathématiques qui ne seraient peut-être pas entendues de la plupart de nos lecteurs, sans nous fournir de circonstances physiques importantes. Nous renverrons aux ouvrages d'hydrodynamique, où ce sujet est traité plus au long que nous ne pourrions le faire ici ; on y trouvera tout ce qui est relatif à la construction des clepsydres ou horloges d'eau dont les anciens se servaient pour mesurer le temps.

(*) Voyez le rapport de l'Institut sur plusieurs machines hydrauliques très-ingénieuses présentées à la Classe par M. Manoury d'Ectot.

CHAPITRE XVI.

Écoulement par des canaux.

Un canal est une conduite ouverte à sa partie supérieure, ou au moins dont la partie supérieure est toujours à une certaine distance du liquide ; il peut être horizontal ou incliné.

(370) *Un canal n'a aucune influence pour augmenter ou diminuer la dépense du réservoir.* — Nous avons vu qu'un tuyau de conduite peut avoir une grande influence sur la dépense que fait le réservoir dans un temps donné, parce que ce tuyau et le réservoir forment un vase continu ; mais il n'en peut être de même dans un canal qui n'a d'autre effet que de conduire le liquide en un endroit quelconque, après qu'il est sorti du réservoir. Lorsqu'un canal reçoit d'un réservoir quelconque, dans un temps donné, une certaine quantité d'eau, il en doit rendre précisément autant à son extrémité, lorsque l'écoulement est bien établi, quels que soient d'ailleurs les retards ou les accélérations que la vitesse initiale puisse éprouver dans la route : cela est évident par soi-même ; mais si on en peut douter, l'expérience le confirme directement.

D'après cette différence entre les canaux et les tuyaux de conduite, on concevra facilement pourquoi, lorsqu'il s'agit de conduire les eaux d'une montagne à une autre qui en est séparée par une vallée, on préfère construire à grands frais un pont aqueduc, plutôt que d'employer des tuyaux placés sur les flancs des montagnes, comme nous l'avons indiqué n.º 321 ; si les travaux, et par suite les dépenses, sont plus considérables, on en est bien dédommagé par la certitude d'obtenir le succès desiré. Néan-

moins les tuyaux de communications peuvent être employés pour de petites distances.

(371) *Variations de la vitesse sur la longueur du canal. Effets qui en résultent.* — Le liquide, en parcourant la longueur du canal qui le conduit d'un point à un autre, présente, dans ses mouvemens, diverses circonstances que nous allons examiner.

Supposons un canal prismatique rectangulaire dont le fond soit horizontal, fig. 124, et qui communique directement avec un réservoir entretenu constamment au même niveau. Si le liquide n'éprouvait dans sa route aucun obstacle, il continuerait à se mouvoir uniformément avec la vitesse qu'il possède à la sortie du réservoir, et sa surface serait partout horizontale : mais le frottement contre le fond et les parois du canal retardent continuellement la vitesse acquise ; il en résulte que les parties antérieures de la masse liquide arrêtent celles qui les suivent, et que le liquide s'accumule dans le canal ; dès lors, à quelque distance du réservoir, le niveau commence à s'élever, et s'élève ensuite de plus en plus, comme le représente la figure, jusqu'à un certain point, passé lequel il commence à s'abaisser, en vertu de l'accélération qu'il prend à l'extrémité par laquelle il déverse.

Si le fond du canal est un plan incliné, la vitesse du liquide augmente continuellement ; d'où il doit résulter une diminution continuelle dans la profondeur du courant, puisqu'il doit toujours passer, dans le même temps, la même quantité de liquide, quelle que soit la vitesse qu'il puisse avoir.

Il est toujours possible, connaissant la quantité de liquide qui s'échappe du réservoir, de donner au canal une inclinaison telle que la vitesse perdue par le frottement, supposé de même intensité partout, soit successivement compensée par l'accélération que produit la chute, et de manière que la profondeur du courant soit sensiblement la même sur toute la longueur du canal.

Si le canal, ayant partout son fond horizontal, s'élargit et se resserre alternativement, on reconnaîtra que dans tous les points où la largeur devient plus grande, la vitesse du courant est diminuée proportionnellement, et que le niveau de la surface est aussi un peu abaissé; au contraire, là où le canal se rétrécit, on reconnaît que la vitesse augmente et que le niveau s'élève un peu; ce sont aussi des conséquences de ce qu'il doit passer constamment, dans le même temps, la même quantité de liquide par toutes les sections du canal.

(372) *Variations de la vitesse sur la profondeur du canal.* — Si la vitesse du courant varie d'un point à un autre de la longueur d'un canal dont le fond est un plan horizontal ou incliné, elle varie également dans les différens points de la profondeur : c'est rarement au fond ou à la surface que se trouve la plus grande vitesse; au fond, la vitesse du courant est diminuée par le frottement qui a lieu contre le sol, et à la surface, elle est diminuée par la résistance de l'air qui y influe beaucoup plus qu'on ne pourrait l'imaginer d'abord.

On peut facilement se convaincre que la plus grande vitesse du courant est ordinairement à quelques décimètres au-dessous de la surface liquide, au moyen de l'appareil de Mariotte, qui consiste en deux boules de cire attachées ensemble par un fil; une des boules renferme quelque corps spécifiquement plus pesant que l'eau, afin de la faire plonger dans le liquide; tout doit être tellement disposé que l'une des boules se trouve à quelque distance sous l'eau, et que l'autre plonge à fleur-d'eau. En plaçant cet appareil dans un canal un peu profond ou dans une rivière, on voit constamment la boule inférieure en avant de l'autre; d'où il suit qu'elle se meut plus vite.

Dans un canal dont le fond est un plan continu et dont le déversoir se trouve au niveau de ce plan, la masse liquide est en mouvement sur toute sa hauteur; mais si le déversoir est élevé au-dessus du fond du canal, toute la masse

liquide inférieure reste en repos : c'est ainsi que dans un étang, dans un lac, l'eau est à-peu-près tranquille au-dessous du plan du déversoir. Il en est de même dans les cavités un peu profondes, dont le fond d'un canal ou d'une rivière peut être parsemé en différens points de son étendue.

(373) *Variations de vitesse sur la largeur d'un canal.*— Un canal peut être encaissé par des parois verticales ou par des parois inclinées; dans l'un et l'autre cas, le frottement contre la paroi doit nécessairement diminuer la vitesse des particules en contact, par conséquent le milieu du courant doit avoir plus de vitesse que ses parties latérales; mais cet effet est beaucoup plus sensible à l'égard des parois inclinées qu'à l'égard des parois verticales; parce que la surface frottante est plus grande, et que la masse d'eau va successivement en diminuant de profondeur : aussi remarque-t-on, dans les rivières dont les rives sont très-aplaties, que la vitesse sur les bords est presque nulle. Il résulte de cette différence de vitesse une circonstance assez remarquable, c'est que le milieu de la rivière est très-sensiblement bombé ; c'est ce qu'on peut observer sur la Seine, par exemple, lorsqu'elle est un peu haute.

CHAPITRE XVII.

Action érosive des eaux sur le fond et les parois des canaux ou des rivières.

(374) *Action érosive sur le fond.* — L'action érosive des eaux sur le fond d'un canal ou d'une rivière dépend à-la-fois de la profondeur du courant et de sa vitesse. Il est évident qu'à profondeur égale l'action érosive doit être plus forte là où la vitesse est plus considérable ; aussi remarque-t-on que, sous les arches d'un pont, le lit d'une rivière est toujours un peu plus profond que partout ailleurs; on sait que pour déblayer une rivière qui se trouve encombrée par des graviers ou du limon, on ressère son lit par des digues, ou par d'autres moyens analogues, pour donner plus de vitesse au courant.

On trouve, dans les pays de montagnes, des traces nombreuses de l'action érosive des eaux. Il n'est pas rare d'y rencontrer des rochers, même de matières très-dures, qui sont coupés à pic sur une profondeur de quelquefois 200 mètres. Dans ces pays, la fonte des neiges, les pluies subites produisent des torrens qui s'écoulent sur les pentes rapides des montagnes avec une vitesse effrayante, entraînant avec eux les débris des rochers, qui produisent aussi leur action particulière pour dégrader le terrein.

(375) *Equilibre de l'action érosive et de la résistance du sol.* — Si un canal était creusé dans un terrein qui fût partout infiniment résistant, l'action érosive des eaux, quelque grande qu'elle fût, ne pourrait apporter aucun changement à la forme du lit ; or, dans la nature, le terrein n'a jamais qu'une résistance finie, et il peut arriver que la profondeur du courant et sa vitesse soient telles que

le lit se creuse continuellement ; mais on conçoit cependant que pour un certain degré de ténacité du sol, pour une certaine profondeur et une certaine vitesse constantes dans le courant, il peut arriver qu'il y ait équilibre, en chaque point, entre la résistance du terrein et l'action érosive du liquide ; et qu'alors le lit ne s'altère en aucune manière.

La profondeur étant partout la même, la condition d'une vitesse constante exige que le fond du canal ait une certaine inclinaison, pour que la perte de vitesse occasionnée par les frottemens, soit compensée successivement par l'accélération. Depuis long-temps on avait trouvé, par des raisonnemens mathématiques, que le fond du canal devait présenter sur sa longueur, depuis sa source jusqu'à son embouchure, la forme d'une courbe asymptotique. M. Monge a trouvé qu'il devait présenter la figure d'une *lintéaire*, c'est-à-dire, la figure de la courbe que forme naturellement une pièce de toile suspendue par ses extrémités ; c'est aussi à-peu-près à ce résultat qu'est parvenu M. Girard, en comparant l'action d'un liquide sur le fond d'un canal à celle d'une chaîne pesante qui y serait mise en mouvement.

Il est rare aussi que le sol, dans lequel le canal est creusé, ait partout le même degré de ténacité ; dans ce cas, il peut arriver que le courant ait partout une profondeur et une vitesse telles que son action érosive soit en équilibre avec la résistance des parties les plus faibles ; alors, si le canal a une pente convenable, son lit sera permanent ; mais si la force érosive se trouve, au contraire, en équilibre avec la résistance des parties les plus fortes, il arrivera nécessairement que les plus faibles seront attaquées ; elles seront successivement creusées, jusqu'à ce que la profondeur des cavités soit assez considérable pour que le liquide n'ait, vers leur fond, aucun mouvement ; c'est alors que le lit sera permanent : suivant la théorie mathématique, le fond de chaque cavité doit être une lintéaire, de sorte

que le lit présenterait alors sur sa longueur une suite de courbes de cette forme, comme ferait une pièce de toile soutenue dans le sens horizontal par une suite de points d'appui placés à distance les uns des autres.

(376) *Action érosive sur les parois latérales.* — En supposant que la résistance du sol soit partout la même, les considérations mathématiques démontrent que l'action érosive des eaux sur les parois latérales d'un canal ou d'une rivière, toute chose égale d'ailleurs, est à son *minimum*, lorsque ces parois sont rectilignes et parallèles. On conçoit, en effet, que si ces parois sont contournées, les parties concaves, opposées au courant, subissent des chocs continuels qui doivent les dégrader d'autant plus vite, que la vitesse du courant est plus grande et la résistance du sol moins considérable : aussi remarque-t-on dans les rivières, qu'aux endroits des coudes brusques, la paroi est continuellement rongée à la partie concave opposée au courant ; en sorte que, dans l'espace de quelques années, la rivière a souvent emporté, de ce côté, une grande partie de terrein, tandis qu'elle a laissé de l'autre une partie de son lit à sec.

Les parois latérales étant rectilignes et parallèles, si la résistance du sol, supposée constante dans toute l'étendue du canal, est plus faible que l'action érosive du courant, il arrivera nécessairement que le lit s'élargira successivement. Si le sol n'a pas partout la même consistance, il arrivera nécessairement que le lit s'élargira partout où la résistance sera trop faible pour faire équilibre à l'action érosive du courant. Aussi remarque-t-on que les rivières sont plus larges dans les terreins de sable, d'argile, de craie, etc., que dans les terreins de calcaire dur, de granit, etc. ; elles sont plus larges dans les plaines nues, que dans les plaines boisées où les racines des arbres empêchent la dégradation du terrein.

(377) *Diverses circonstances que présente le cours des rivières.*—Dans tous les endroits où une rivière est étroite-

ment resserrée dans un terrein qui se laisse difficilement corroder, la vitesse du liquide devient très-grande ; il en résulte que le lit s'approfondit successivement, à moins que la résistance du sol ne soit en équilibre avec l'action érosive du courant. Il en arrive de même partout où la pente du terrein procure au liquide une très-grande vitesse. On ne trouve dans ces endroits, que de très-gros cailloux roulés, parce que les plus petits sont entraînés par la masse liquide en mouvement.

Dans les endroits, au contraire, où le lit de la rivière s'élargit, ou bien où la pente devient très-faible, le fond s'élève successivement, parce que la vitesse devenant plus petite, le courant n'a plus la force d'entraîner les débris qu'il charriait précédemment. Aussi remarque-t-on que le lit des rivières s'élève continuellement dans les pays de plaines et partout où la largeur du courant devient plus grande. C'est toujours dans ces endroits qu'on trouve les graviers et les sables fins. D'après ces réflexions, on voit que c'est au point le plus large d'une rivière qu'il faut chercher un gué pour passer d'un bord à l'autre.

Le fond d'une rivière s'élève aussi toutes les fois qu'on y établit un barrage transversal ; l'effet de ce barrage est de détruire la vitesse du courant et aussi d'arrêter immédiatement les débris qu'il charrie, et qui, par leurs poids, gagnent toujours le fond.

Dans la dernière partie de leur cours, près de leur embouchure dans la mer, les rivières s'encombrent successivement, parce que c'est là que leur pente est la plus faible ; mais il y a encore une autre cause qui vient de ce que les eaux de la mer présentent un obstacle au courant et anéantissent la vitesse qui lui reste : c'est là que les sables plus fins se déposent et forment des attérissemens plus ou moins considérables.

Dans les mers qui n'ont point de flux et reflux sensibles, il se forme, à l'embouchure même de la rivière ou à quelque distance dans la mer, une sorte de montagne de sa-

ble, qu'on nomme *Barre*, et qui, tôt ou tard, finit par empêcher l'entrée des bâtimens. Dans les mers qui sont sujettes au flux et reflux, la barre se forme ordinairement dans la rivière même, à une distance plus ou moins grande de son embouchure, parce que les eaux, qui refluent dans la rivière quand la marée monte, apportent des débris qui se déposent là où les vitesses se font équilibre. Ainsi, à l'égard de la Seine, la barre se trouve à Quillebœuf, à dix lieues avant son embouchure.

On a fait, en divers endroits, des travaux considérables, pour détruire les barres et faciliter ainsi la navigation à l'embouchure des fleuves. Pour cela, on resserre le lit par des digues de diverses espèces, pour donner au courant une vitesse plus grande et provoquer l'érosion du fond ; mais tout l'effet qu'on peut espérer de ces travaux, est de transporter la barre plus loin, et en un point où la profondeur du bassin soit naturellement très-grande, de manière à ce que le dépôt de sable ne puisse de long-temps gêner la navigation.

L'élargissement des rivières et l'élévation de leur fond, sont des effets réciproquement conséquens l'un de l'autre ; car, comme nous l'avons dit précédemment, il doit passer constamment la même quantité d'eau par toutes les coupes transversales du courant ; donc, là où le fond s'élève par une cause quelconque, les eaux doivent ronger continuellement les parois latérales de leur lit pour en augmenter la largeur. S'il arrivait que le terrein fût trop résistant pour que cet effet eût lieu, la vitesse du courant augmenterait nécessairement, et le fond serait continuellement déblayé ; de même, là où, par une cause quelconque, la largeur du courant est augmentée, la vitesse devenant moins grande, le fond commence à s'encombrer : dans tous les cas cependant, il s'établit bientôt une sorte d'équilibre entre la force érosive de l'eau et sa faculté déposante ; alors le lit devient permanent.

Le fond d'une rivière principale peut aussi s'élever par

l'effet des torrens et des rivières qui viennent s'y jeter; les torrens, par exemple, qui sont extrêmement rapides, parce qu'ils coulent sur un terrein dont la pente est très-grande, charrient toujours des débris de rochers, plus ou moins gros; mais, lorsqu'ils rencontrent une rivière, la vitesse résultante des deux courans réunis, se trouve trop faible pour entraîner encore les débris qui, dès lors, se déposent successivement.

C'est ainsi que le Pô, par exemple, élève continuellement son fond, d'une manière effrayante pour tous les pays environnans, par les dépôts qu'y occasionnent les torrens qui descendent des Alpes et se portent à angle droit sur la direction du fleuve.

Nous aurions encore beaucoup de choses à dire sur les rivières; mais nous reviendrons sur cet objet important, dans une autre partie de notre Cours général, en traitant spécialement des attérissemens. (*Voyez* la partie Minéralogique.)

CHAPITRE XVIII.

Du choc et de la résistance des liquides.

(378) *Considérations théoriques.* — Lorsqu'un liquide en mouvement rencontre en sa route un corps en repos, il exerce sur lui une *percussion* dont la grandeur dépend de la vitesse du courant, de l'étendue et de la forme du corps. Lorsqu'un corps en mouvement traverse un liquide en repos, il éprouve une *résistance* qui dépend aussi de la vitesse avec laquelle il se meut, de sa forme et de son étendue. La théorie n'a pas jusqu'ici distingué ces deux cas, parce qu'il semble, dans le second, qu'on peut supposer le corps en repos et attribuer sa vitesse au liquide en sens contraire. Cependant, il y a dans les phénomènes, des nuances dont il serait important de rendre raison ; mais cette partie de la mécanique est trop peu avancée pour qu'il soit possible d'établir ces différences.

Pour établir la théorie mathématique du choc ou de la résistance des liquides, on considère ces corps comme composés de molécules parfaitement mobiles qui, aussitôt qu'elles ont frappé l'obstacle, sont comme anéanties, ou plutôt s'échappent promptement de côtés et d'autres, pour permettre à celles qui les suivent de frapper à leur tour, sans altérer en rien leur direction ou leur vitesse. Il est visible qu'il n'en peut être ainsi dans la réalité ; mais, en considérant les choses de cette manière, on parvient à des résultats, sinon très-exacts, du moins utiles, et qui peuvent être employés, sans craindre beaucoup d'erreurs, dans une multitude de cas : d'ailleurs, quelque défectueuse que soit une théorie, elle sert toujours au moins à lier les faits entr'eux.

(379) *Résultats de la théorie.* — En partant de ces suppositions, on trouve que, toute chose égale d'ailleurs, la percussion des liquides est proportionnelle :

1.° *A la densité du liquide ;*

2.° *A l'étendue de la surface choquée ;*

3.° *Au carré de la vitesse du courant ;*

4.° *Au carré du sinus de l'angle sous lequel la direction du courant rencontre la surface choquée.*

Ainsi, soient s et s' les surfaces de deux corps plongés dans des liquides dont les densités soient d, d', et les vitesses v et v' ; soient α et α' les angles sous lesquels les surfaces se présentent à la direction du courant ; soient enfin f et f' les efforts qu'elles supportent ; on aura

$$f : f' :: sdv^2 (\sin.\alpha)^2 : s'd'v'^2 (\sin.\alpha')^2.$$

Si la surface s, par exemple, est perpendiculaire à la direction du courant, on aura $\sin.\alpha = R$, et la proportion devient

$$f : f' :: sdv^2 R^2 : s'd'v'^2 (\sin.\alpha')^2.$$

Au moyen de cette dernière proportion, il est facile de trouver le rapport entre la percussion que supporte un prisme triangulaire élevé verticalement au milieu d'un liquide, *fig.* 125, lorsqu'il présente au courant la surface brisée ACB, et lorsqu'il présente la surface plane AB. On trouve que si le triangle ACB est isocèle et rectangle en C, la percussion que supporte la surface brisée ACB n'est que la moitié de celle que supporterait la surface plane AB. Si le triangle est équilatéral, la percussion sur la surface brisée n'est que le quart de celle que supporterait la surface plane.

On voit, d'après ces résultats, combien il est avantageux de *couvrir les piles des ponts par des avant-becs ou éperons*, qui divisent le liquide et affaiblissent le choc, d'autant plus qu'ils sont plus aigus.

On démontre aussi qu'un cylindre élevé verticalement au milieu d'un liquide en mouvement ne supporte que les $\frac{2}{3}$ de la percussion que supporterait le parallélipipède

circonscrit, exposé par l'une de ses forces au choc perpendiculaire du courant : c'est pour cela que, dans les nouveaux ponts, on couvre les piles par des demi-cylindres dont la convexité est opposée au courant.

Quant à la valeur absolue de la percussion, le calcul indique qu'elle est égale au poids d'un prisme liquide qui a la surface choqué pour base, et pour hauteur le double de la hauteur due à la vitesse du liquide.

Consultez sur cette théorie, Bossut, hydrodynamique, tom. 1, chap. 13, ou Francœur, dynamique, liv. 2. chap. 3. Nous n'entrons point dans ces calculs, parce que notre objet particulier doit être de trouver par expériences, les lois du choc ou de la vitesse des liquides.

(380) *Expériences relatives à la proportionalité de la résistance à la densité des liquides.* — On fait depuis long-temps l'expérience, dans les cours de physique, avec un pendule qu'on fait mouvoir successivement dans différens liquides; soit, par exemple, un pendule composé d'une petite boule de fer attachée à une verge de même métal, parfaitement mobile autour de son centre de suspension. Qu'on plonge d'abord ce pendule dans l'eau, qu'on l'élève à une certaine hauteur pour l'abandonner à lui-même, et qu'on compte exactement le temps pendant lequel il oscillera; qu'on le plonge ensuite dans le mercure, qu'on l'élève à la même hauteur que précédemment, pour le laisser tomber et compter la durée de son mouvement. Comparant ensuite les temps entr'eux, on trouvera qu'ils sont sensiblement dans le rapport de 13 à 1, c'est-à-dire, en raison inverse des densités; donc, dans le mercure, le mouvement est anéanti 13 fois plus vite que dans l'eau.

En faisant des expériences semblables avec d'autres liquides, on parviendra à des résultats de même genre.

(381) ***Expériences relatives à la proportionalité des résistances aux étendues des surfaces, aux carrés des vitesses, et aux carrés des sinus d'incidence.*** — Comme

ces expériences ont besoin d'être faites un peu en grand, nous renverrons au 2.me volume de l'hydrodynamique de Bossut, chap. 15, 16 et 17, d'où nous tirons les résultats suivans :

1.o Pour une même vitesse, les percussions sur des surfaces planes, perpendiculaires à la direction du courant, sont sensiblement proportionnelles aux étendues de ces surfaces, comme l'indique la théorie ;

2.o Les résistances suivent sensiblement la raison des carrés des vitesses, quelle que soit la forme du corps ;

3.o Les résistances, sur des surfaces inclinées à la direction du courant, ne suivent pas la raison des carrés des sinus des angles d'incidence, et s'en écartent d'autant plus que ces angles sont plus petits : dans ce cas, la théorie doit être entièrement abandonnée ; on ne peut l'employer comme moyen d'approximation, que pour des angles compris entre 50d et 90d. Les expériences de Bossut conduisent à ce résultat, que la percussion qui a lieu sur une surface angulaire, est plus grande que celle que donne la théorie (377), et que relativement à une surface cylindrique, elle est au contraire plus petite.

(382) *Expériences relatives à la valeur absolue de la résistance.* — Les mêmes expériences ont conduit à ce résultat, que la valeur absolue de la résistance est le poids d'un prisme liquide qui aurait pour base la surface du corps et pour hauteur la hauteur due à la vitesse ; résultat contraire à la théorie qui donne au prisme une hauteur double.

Remarquons bien que, dans les expériences de Bossut, le liquide était en repos et le corps en mouvement ; et qu'ainsi les résultats sont relatifs à la résistance des liquides. Peut-être obtiendrait-on des résultats différens, en faisant des expériences sur des liquides en mouvement, et laissant le corps choqué en repos.

(383) *Expériences sur la résistance des liquides enfermés dans des canaux étroits.* — Il résulte des expériences de Bossut que cette résistance est plus grande que

dans un fluide indéfini en tout sens, et que la différence peut aller très-loin. Dans ce cas, la valeur absolue de la résistance effective est celle que donne la théorie, c'est-à-dire, qu'elle est égale au poids d'un prisme liquide qui a pour base la surface plongée, et pour hauteur le double de la hauteur due à la vitesse. Bossut conclut de ces dernières expériences, qu'il est essentiel de donner aux canaux de navigation le plus de largeur et de profondeur qu'il est possible, sans trop augmenter la dépense de construction. Il conclut aussi que pour des machines hydrauliques qui admettent des *roues à aubes*, il est essentiel de ne donner au *coursier* que la largeur et la profondeur suffisantes pour le jeu des ailes de la roue. Dans le cas de cette construction, l'impulsion que reçoivent les ailes de la roue, est double de celle qu'elles recevraient, si elles étaient plongées à même profondeur dans un fluide indéfini : ce qui s'accorde avec des expériences directes faites à ce sujet.

(384) *Observations.*—On voit, d'après ces résultats, que la théorie est loin d'être exacte, et qu'il est essentiel de la modifier, ou peut-être même de l'envisager sous un autre point de vue, en distinguant toutefois le choc et la résistance.

Voyez, à cet égard, quelques considérations nouvelles dans la Mécanique philosophique de M. Prony, *pag.* 414 et suivantes.

Si la théorie ne s'accorde pas avec l'expérience, il ne faut pas s'en étonner, parce qu'on y néglige une multitude de circonstances, dont il faudrait nécessairement tenir compte. Les particules liquides, après avoir frappé l'obstacle, ne peuvent se porter sur les côtés, sans exercer une certaine action sur les particules suivantes : il se fait tout autour de l'obstacle, des *remous* en vertu desquels le liquide s'élève à la partie antérieure, et s'abaisse ensuite graduellement le long des faces latérales du corps jusqu'à la partie postérieure où il se forme une cavité dont le fond est au-dessous de la surface horizontale du liquide. Ces effets

sont d'autant plus sensibles que la vitesse est plus grande.

On trouve par expérience que de deux bateaux qui présentent extérieurement la même surface au liquide, le plus long (pourvu que la différence ne soit pas excessive) éprouve moins de résistance que l'autre : ce qui tient à ce que dans le bateau le plus long, le creux qui se forme à la partie postérieure est beaucoup moins considérable, parce que le liquide a le temps de reprendre son niveau. Les bateliers savent très-bien que pour mouvoir 2 ou 3 bateaux attachés à la queue l'un de l'autre, il faut employer un effort moindre que la somme de ceux qu'il faudrait pour les mouvoir séparément.

Dans les canaux étroits, le liquide a d'autant plus de difficulté à s'échapper, que l'espace qui reste entre le bateau et les parois du canal est plus petit; le liquide se trouve alors poussé en avant, et s'élève beaucoup au-dessus du corps qui le presse.

On ne peut espérer de rendre la théorie conforme à l'expérience qu'en introduisant toutes ces circonstances et beaucoup d'autres analogues dans le calcul; c'est en quoi consiste la difficulté. On a résolu de cette manière quelques cas particuliers, dont les résultats ont été assez heureux.

Des mouvemens réfractés.

(385) Lorsqu'un corps solide, qui se meut dans l'air, tombe perpendiculaire à la surface d'un liquide, il pénètre dans la masse, en perdant une partie de sa vitesse, mais ne subit aucune déviation dans sa direction. Lorsqu'au contraire, il tombe obliquement à la surface du liquide, il subit une déviation ou *réfraction*, en vertu de la résistance du liquide, et s'écarte de la perpendiculaire au point d'immersion. Ainsi, la boule A, *fig.* 126, qui se meut dans l'air suivant la direction AB, prend la direction BC lorsqu'elle pénètre dans le liquide. Si plusieurs liquides de densités différentes sont placés les uns au-dessus des autres,

on remarque qu'à chaque liquide plus dense, le mobile subit une nouvelle réfraction, comme *fig.* 126. La réfraction est d'autant plus forte, que les densités des liquides diffèrent plus l'une de l'autre; en général, l'angle de réfraction est proportionnel à la densité du liquide.

A mesure que la direction AB se rapproche de la surface du liquide, c'est-à-dire, à mesure que l'angle d'incidence ABE devient plus petit, la ligne de réfraction BC approche d'être horizontale, et, par conséquent, de se confondre avec la surface liquide; or, comme l'angle de réfraction FBC est toujours plus petit que l'angle d'incidence, il arrive nécessairement que BC se confond avec BF quelque temps avant que AB se confonde avec BE.

Quand une fois la direction de la droite de réfraction est confondue avec BF, si on fait l'angle d'incidence encore plus petit, le mobile se réfléchit à la surface du liquide, comme à la rencontre d'un corps solide, en faisant l'angle de réflexion égal à l'angle d'incidence; c'est ce qui arrive, lorsqu'on jette très-obliquement une pierre à la surface de l'eau pour produire ce qu'on nomme des *ricochets*. Le même effet arrive souvent, quand on tire des coups de canon à la mer; le boulet va par réflexion frapper les objets qui sont sur sa direction : c'est même un talent particulier que de savoir le faire agir ainsi dans certaines circonstances.

Il faut avoir une certaine habitude pour tuer, d'un coup de fusil, un animal qui se trouve à quelque profondeur sous l'eau; il arrive toujours les premières fois qu'on manque son but, parce que la balle subit une réfraction; il faut, pour tirer juste, savoir estimer l'angle de réfraction et connaître la profondeur de l'eau, pour savoir de combien la balle s'écartera du point qu'on a visé; alors, on tire un peu plus près de soi : on ne peut acquérir cette habitude que par un peu d'exercice.

CHAPITRE XIX.

Des mouvemens oscillatoires et vibratoires des liquides.

(386) *Oscillation du liquide dans un siphon.* — Lorsqu'un liquide est en repos dans un tube courbé, *fig.* 104, les deux surfaces sont sur un même plan; mais, lorsqu'une cause quelconque vient à déranger l'équilibre, le liquide s'élève dans une des branches, et s'abaisse de la même quantité dans l'autre. Lorsque cette cause a cessé d'agir, le liquide retombe par son propre poids et s'élève du côté opposé; puis, il retourne sur ses pas et oscille ainsi à la manière d'un pendule. La grandeur des oscillations diminue petit à petit en vertu du frottement, et après quelque temps l'équilibre est rétabli.

Ces oscillations qui sont dues aussi à l'action de la gravité, suivent entr'elles les mêmes lois que les oscillations du pendule; ainsi elles sont isochrones; et dans des tubes de différentes longueurs, leurs durées sont entr'elles comme les racines carrées des longueurs des colonnes.

On démontre que, dans un siphon renversé, *fig.* 104, dont les branches latérales sont verticales, le liquide fait ses oscillations dans le même temps qu'un pendule dont la longueur serait la moitié de la longueur totale de la colonne. On peut facilement, quelle que soit la position des branches latérales, trouver la longueur du pendule qui ferait ses oscillations dans le même temps que le liquide. On parvient pour cela à la formule $L = \frac{l}{\cos.\gamma + \cos.\gamma'}$, γ et γ' étant les angles que les branches du siphon font avec la verticale, l étant la longueur totale du liquide et L celle

du pendule. Lorsque les branches sont verticales, on a $\gamma = 0$, $\gamma' = 0$; et la formule donne $L = \frac{l}{2}$, comme nous l'avons déjà dit.

(387) *Application aux oscillations qui ont lieu à la surface des grandes masses liquides.* — Les oscillations qui sont occasionnées à la surface des eaux, soit par les vents, soit par des causes quelconques, sont analogues aux oscillations qui se font dans un siphon, et peuvent leur être comparées ; on trouve que les ondes font leurs oscillations dans le même temps qu'un pendule qui aurait pour longueur la largeur de ces ondes. Ainsi, par exemple, à Paris, la longueur du pendule qui bat les secondes, est de $0^m,994$ (102), et les ondes qui ont cette largeur, font une oscillation par seconde.

(388) *Particularités des mouvemens d'ondulation.* —Les mouvemens des ondes présentent aussi quelques particularités, qu'il est nécessaire de faire connaître. D'abord ces mouvemens ne se manifestent qu'à la surface, de sorte qu'à une certaine profondeur, le liquide est parfaitement tranquille ; c'est ce qu'ont rapporté tous les plongeurs qui ont eu le courage de se mettre à la mer dans les plus fortes tempêtes.

Lorsqu'une onde, produite par un moyen quelconque, vient à rencontrer un obstacle, par-dessus lequel elle ne peut passer ; elle est réfléchie sur elle-même, et prend, en revenant sur ses pas, la figure qu'elle aurait eu, si elle eût continué son mouvement de l'autre côté de l'obstacle.

Tout le monde sait qu'en jetant une pierre dans l'eau, il se produit à la surface du liquide des ondes circulaires qui se propagent sur toute son étendue. Si ces ondes viennent à rencontrer un obstacle, elles se réfléchissent sur elles-mêmes, comme on le voit *fig.* 127. Si la paroi contre laquelle les ondes se portent, est percée d'une ouverture qui communique avec une pièce d'eau voisine, il se forme, dans cette seconde pièce, des ondes demi-circulaires, dont le centre est celui de l'ouverture, comme on le voit *fig.* 127.

Si l'ouverture communique avec un canal, les ondes se propagent dans ce canal, comme on le voit encore *fig.* 127. Ce sont des expériences qu'il est facile de faire dans les bassins qui ornent nos jardins.

Ce qui est encore à remarquer, c'est que différentes ondes, produites au même moment à la surface d'un liquide, se propagent sans se troubler en aucune manière. Ainsi, en jetant une pierre en un point d'un bassin et une autre en un point différent, il en résulte deux ondes circulaires qui se propagent, l'une par-dessus l'autre, sans se gêner en aucune manière.

(389) *Mouvemens vibratoires.* — Tous les physiciens s'accordent à dire que les liquides ne sont pas susceptibles de vibrer à la manière des corps solides; mais seulement par communication. Si on met de l'eau dans un verre à pied, au bord duquel on passe le doigt pour en tirer un son, on voit la surface du liquide chargée de rides qui vont de la circonférence au centre.

Si on prend un vase de verre rempli d'eau refroidie à plusieurs degrés au-dessous de zéro sans être gelée, on verra qu'en provoquant dans le vase un mouvement vibratoire, il se forme à l'instant dans le liquide une cristallisation : les centres de cristallisation correspondent aux nœuds de vibration du vase, et on peut les changer à volonté, en changeant le mode de vibration. Cette remarque peut être de quelqu'importance dans les recherches sur la cristallisation des sels.

La faculté des liquides de vibrer par communication, est aussi prouvée par la facilité avec laquelle ils propagent le son produit en un point quelconque de leur masse. Si, étant plongé dans l'eau, on agite une sonnette dans ce liquide, l'intensité du son qu'on percevra sera beaucoup plus forte que si on se trouvait dans l'air; le bruit fatigue même beaucoup l'oreille par son intensité. On trouve encore ici un exemple de la prévoyance pleine de bonté du Créateur, qui n'a pas donné aux organes de l'ouïe des poissons, tout

le développement qu'on remarque dans la plupart des animaux terrestres.

La faculté de transmettre le son n'est pas la même dans tous les liquides ; il paraîtrait, d'après diverses expériences faites à Turin par M. Pérolle, qu'elle est en raison directe des pesanteurs spécifiques.

On sait fort peu de chose sur la vitesse du son dans les liquides : d'après quelques expériences que j'ai essayé de faire en mer, il y a quelques années, il paraît qu'elle est très-grande ; mais ces expériences présentent plus de difficultés qu'on ne pourrait le croire. Il me paraît que la vitesse n'est pas moindre de 1500 mètres par seconde ; mais je suis porté à regarder ce résultat comme beaucoup trop faible. Je me proposais de refaire ces expériences dans un grand lac, où il doit y avoir moins de causes d'erreur ; mais je n'ai pu en avoir jusqu'ici l'occasion.


Digitized by Google

LIVRE QUATRIÈME.

FLUIDES AÉRIFORMES OU GAZ.

PREMIÈRE SECTION.

PROPRIÉTÉS DES FLUIDES AÉRIFORMES.

On nomme ordinairement *gaz permanens* ceux qui conservent l'état aériforme à toutes les températures et sous toutes les pressions ; on nomme *gaz non permanens*, ou *vapeurs*, ceux qui reprennent l'état liquide ou solide, lorsque la température vient à diminuer sensiblement, ou lorsqu'ils sont soumis à une forte pression. Nous ferons voir à l'article du calorique, jusqu'à quel point cette distinction est fondée ; mais ici, nous étudierons, en général, les propriétés des fluides aériformes, et nous ferons voir que tous, sans en excepter les vapeurs, se comportent absolument de la même manière que l'air atmosphérique.

CHAPITRE PREMIER.

De la figure et de la porosité.

(390) *Figure.* — Il n'est pas possible de découvrir dans les fluides aériformes la moindre force de cohésion ; de sorte que ces corps, en quelque petite quantité qu'ils se trouvent, ne peuvent pas même prendre, comme les liquides, la figure sphérique : au reste, quand bien même

ils prendraient réellement cette forme, nous ne pourrions nous en apercevoir, parce qu'ils sont la plupart invisibles.

Les corps aériformes prennent la forme des vases dans lesquels ils sont renfermés; mais, en vertu de leur élasticité, ils diffèrent encore, à cet égard, des corps liquides; car si, par exemple, dans un flacon, vide d'air même, on introduit un volume d'eau moins grand que celui qu'il pourrait contenir, ce liquide se porte à la partie inférieure du vase dont il prend la forme, et sa surface devient plane et horizontale; mais si, dans le même flacon vide d'air, on introduit une certaine quantité d'un fluide aériforme quelconque, ce fluide s'étend dans toute la capacité et prend en totalité la forme du vase dans lequel il est, sans que jamais sa surface supérieure devienne d'elle-même plane et horizontale.

(391) *Porosité.* — La porosité des fluides aériformes est prouvée d'une manière évidente, par la faculté que possèdent ces corps de pouvoir être resserrés par la compression dans un espace infiniment plus petit que celui qu'ils occupent à l'état naturel.

CHAPITRE II.

De l'impénétrabilité.

(392) *Expériences qui constatent l'impénétrabilité de l'air.* — L'expérience journalière doit avoir appris que l'air est aussi bien impénétrable que les corps solides et les corps liquides : mais, comme ce fluide est invisible, nous n'avons pu apercevoir immédiatement qu'il s'échappe des vases qui le renferment, lorsqu'on vient à y plonger un autre corps; d'un autre côté, comme nous vivons habituellement au milieu de lui, il nous est devenu tellement familier, que nous ne faisons aucune attention à ses diverses propriétés, à moins que quelques circonstances ne viennent à exciter sur elles notre curiosité. Nous allons rappeler ici les expériences journalières qui constatent l'impénétrabilité de l'air.

1.° Lorsqu'après avoir pris une bande de papier à la main, nous la faisons aller et venir dans l'air, nous la voyons toujours se courber dans le sens opposé à celui du mouvement; ce qui annonce une certaine résistance de la part du fluide qui nous environne. Cette résistance se manifeste d'ailleurs d'une manière non équivoque, lorsqu'il fait du vent.

2.° Lorsque dans une bouteille vide, comme on le dit vulgairement, on cherche à introduire de l'eau au moyen d'un entonnoir dont le tube joint assez bien avec l'ouverture, on entend un bruit particulier, occasionné par l'air qui s'échappe du vase. Si on plonge cette bouteille dans l'eau, on voit, à mesure que le liquide s'introduit, l'air s'échapper et traverser l'eau sous la forme de bulles.

3.° Pour faire cette dernière expérience d'une manière encore plus concluante, qu'on prenne un baquet, dans l'intérieur et sur un côté duquel on fixe une planche horizontale percée d'un trou. Qu'on emplisse ce baquet d'eau jusqu'à quelques centimètres au-dessus de la planche; qu'on prenne ensuite une cloche de verre, qu'on la plonge dans le baquet pour la remplir, et qu'on la glisse doucement, l'ouverture en bas, sur la planche au-dessus du trou. Cela fait, qu'on prenne la bouteille en question, qu'on la plonge dans l'eau et qu'on dirige son goulot sous la planche, vis-à-vis l'ouverture. La figure 128 représente tout l'appareil que nous venons d'indiquer.

A mesure que l'eau s'introduira dans la bouteille, l'air qu'elle renferme s'échappera et se portera dans la cloche, dont il chassera alors une partie du liquide qui y était suspendu.

4.° On peut encore prouver l'impénétrabilité de l'air d'une autre manière ; si on plonge un verre ou une cloche, l'ouverture en bas, dans un vase rempli d'eau, on remarquera que le liquide ne s'introduit pas dans la cavité, si ce n'est d'une très-petite quantité, parce que l'air est extrêmement compressible.

C'est d'après cette expérience, qu'on a inventé la *cloche du plongeur*, où espèce de tonneau défoncé à sa partie inférieure et dont les bords de l'ouverture sont garnis de poids, pour que la machine puisse se maintenir dans la position verticale. Un homme s'introduit sous cette cloche où il s'assied sur un bâton placé horizontalement; on le descend ensuite dans l'eau pour aller chercher au fond les objets précieux qui peuvent y être tombés ou qui s'y trouvent naturellement. Cette machine est abandonnée depuis long-temps, soit parce que l'air qui s'y trouve est bientôt vicié par la respiration de l'ouvrier, soit parce que cet air condensé agit fortement sur les organes, et fait bientôt rendre le sang par le nez, la bouche et les oreilles ; on

pourrait cependant s'en servir avec avantage à de petites profondeurs.

(393) *Expériences qui constatent l'impénétrabilité des autres fluides aériformes.* — On peut prouver de la même manière l'impénétrabilité de tous les fluides aériformes ; seulement il est nécessaire de savoir que plusieurs d'entr'eux sont solubles dans l'eau, et, par conséquent, que l'appareil *fig.* 128, tel que nous l'avons décrit, ne peut point servir pour eux. Dans ce cas, on remplace l'eau par le mercure, et au lieu d'un baquet, on prend une petite cuvette de faïence ou de porcelaine, et une cloche à proportion. Nous disons petite cuvette, parce que le mercure étant très-lourd et assez cher, on serait entraîné, pour un grand appareil, à une dépense considérable ; mais on peut facilement faire les expériences dont nous parlons, avec 3 kilogrammes de mercure du prix d'environ 30 fr. ; il y a aussi des fluides aériformes qui attaquent le mercure, et qu'on est obligé de recueillir par un autre procédé fondé sur la différence des pesanteurs spécifiques. (Ch. 5, n.° 408)

L'appareil que nous avons indiqué, soit à l'eau, soit au mercure, est employé dans les laboratoires de chimie sous le nom de *cuve-pneumatochimique*, pour récolter les gaz qui se dégagent pendant les diverses opérations, ou que l'on prépare exprès (*).

(*) Comme on n'a ordinairement à sa disposition que l'air atmosphérique, et qu'on ne trouve à se procurer les différens gaz chez aucun marchand, nous donnerons ici le moyen d'en préparer soi-même quelques-uns.

Gaz oxigène. Ce gaz est la partie respirable de l'air ; il entre comme partie constituante dans une multitude de corps solides, liquides ou aériformes ; on peut se le procurer en traitant ces corps par divers procédés. Nous citerons ici la préparation par le *précipité per se*, combinaison d'oxigène et de mercure, qu'on trouve chez tous les apothicaires. Il suffit de faire chauffer cette poudre dans une petite cornue, *fig.* 129,

Les vapeurs sont aussi bien impénétrables que les gaz permanens; on peut le prouver encore par des expériences semblables à celles que nous venons de citer; mais comme les vapeurs repassent à l'état liquide par une diminution de température, il faut que le liquide de l'appareil soit au même degré qu'elles; d'un autre côté, il faut que ce liquide ne soit pas capable de les dissoudre. Le mercure est très-propre à ce genre d'expérience.

On fera donc chauffer le mercure à la température de l'eau bouillante; puis, ayant mis dans une petite cornue un liquide évaporable comme l'eau, l'esprit-de-vin, l'éther, on adaptera le bec de l'instrument sous l'appareil, après avoir toutefois laissé échapper l'air qui se dégage d'abord. On reconnaîtra par ce moyen, que la vapeur déplace le mercure comme le ferait un gaz permanent.

---

dont le bec plonge dans l'eau; on laisse échapper les premières bulles qui ne sont que de l'air dilaté par la chaleur, et on engage le bec de l'instrument sous la cloche lorsque le gaz commence à se dégager en abondance; on obtient ainsi une grande quantité d'oxigène assez pur, et le mercure reparaît avec l'aspect métallique.

Gaz hydrogène. C'est un gaz susceptible de s'enflammer, et qui forme de l'eau par sa combinaison avec l'oxigène. On peut le préparer en faisant passer de l'eau en vapeur dans un tube de porcelaine rempli de tournures de fer et maintenu à la chaleur rouge pendant l'expérience. L'oxigène de l'eau se porte sur le fer, et forme avec lui un corps solide, noir et brillant, l'hydrogène se dégage et va se rendre sous une cloche disposée à cet effet. On voit l'appareil propre à cette opération *fig.* 130; l'extrémité *a* du tube *ba* plonge dans l'eau et s'engage sous une cloche. On prépare aussi ce gaz par un autre procédé, mais dont il est plus difficile de se rendre raison quand on n'a pas de notions suffisantes de chimie. On met la limaille de fer dans une bouteille, *fig.* 131, garnie d'un tube courbé dont l'extrémité *a* va plonger dans la cuve; on verse par-dessus un mélange de 6 parties en poids d'acide sulfurique (huile de vitriol) et de 6 parties d'eau. L'eau se trouve

(394) *Exemples de la résistance de l'air.* — Après avoir ainsi prouvé, en général, l'impénétrabilité des fluides aériformes, on ne sera plus étonné de la résistance qu'ils opposent à tous les corps qui tendent à les traverser. C'est l'air, comme nous l'avons dit n.º 70, qui s'oppose à ce que tous les corps acquièrent la même vitesse en tombant d'une certaine hauteur. Si l'eau qu'on jette par une fenêtre se divise en goutte en tombant, c'est un effet de la résistance du fluide aériforme qui nous entoure : c'est une des raisons pour lesquelles la pluie, la neige, arrivent à terre sous la forme de gouttes et de flocons. Ces gouttes et ces flocons, tombant le plus souvent de très-haut, nous frapperaient avec force, si la résistance de l'air ne leur empêchait d'acquérir une grande accélération dans leur mar-

---

décomposée dans ce procédé, et le gaz hydrogène se dégage en abondance. C'est ce moyen qu'on emploie pour se procurer le gaz hydrogène dont on gonfle les ballons.

Il faut un peu d'attention en faisant les expériences sur ce gaz, car s'il se trouve mêlé dans un vase avec l'oxigène ou l'air atmosphérique, et qu'on vienne à lui présenter un corps enflammé, il détonne avec force et pourrait causer des accidens fâcheux.

Gaz azote. C'est le gaz qui, par son mélange en certaine proportion avec l'oxigène, forme l'air atmosphérique ; il n'est pas susceptible d'entretenir la vie et la combustion. On peut se le procurer en brûlant du phosphore dans des vases fermés remplis d'air atmosphérique. Pour cela on place une capsule à la surface de l'eau de la cuve pneumatochimique, on y met du phosphore auquel on met le feu, et on la recouvre d'une grande cloche remplie d'air. Il se fait alors une combustion très-vive ; mais bientôt le phosphore s'éteint, et l'eau remonte dans la cloche qui ne renferme plus que de l'azote, et un peu d'oxigène qu'on absorbe en y laissant séjourner pendant quelques jours du phosphore, après quoi on transvase le gaz dans des flacons où on ne laisse qu'une très-petite quantité d'eau ; on ajoute de la potasse pure, qui se dissout dans l'eau, on agite pendant

che. C'est ce qu'on prouve dans les cabinets de Physique, au moyen d'un tube de verre purgé d'air, qui renferme une petite quantité d'eau, et qu'on nommé ***marteau d'eau.*** En renversant successivement ce tube, pour faire aller et venir l'eau d'un bout à l'autre, on entend un choc assez fort de ce liquide contre les parois.

S'il faut encore citer un exemple de la grande résistance que l'air oppose au mouvement des corps qui le traversent, nous pouvons rapporter le suivant : le calcul fait voir que sous l'angle de 45 d un boulet de 24, lancé dans le vide avec 4 kilog. de poudre, devrait être porté à plus de 17000 mètres, tandis que, par expérience, il n'est porté qu'à 4000.

---

quelques minutes, et la potasse s'empare du phosphore que le gaz renferme. Le résultat est de l'azote à peu-près pur.

Gaz acide carbonique. Lorsque ce gaz est pur, il est, ainsi que le suivant, soluble dans l'eau; de sorte qu'il faut le recueillir sous l'appareil à mercure. Ce gaz est partie constituante des marbres, et de tout ce qu'on nomme pierre à chaux; on peut se le procurer en versant de *l'acide sulfurique* (*huile de vitriol*) sur ces substances réduites en poudre; l'acide se combine avec la chaux, et le gaz se dégage en produisant une vive *effervescence.*

Gaz ammoniac. C'est un composé d'azote et d'hydrogène qui, combiné avec l'acide hydrochlorique (substance qui se trouve dans le sel marin), forme le *sel ammoniac*, bien connu dans le commerce. Pour préparer ce gaz, on fait un mélange de sel ammoniac et de chaux vive dans une bouteille comme *fig.* 131, dont on engage le tube sous l'appareil à mercure. Le gaz se dégage alors en abondance : il a une odeur très-piquante d'urine croupie, dont il se dégage effectivement pendant la putréfaction. Sa solution dans l'eau porte vulgairement le nom *d'alcali volatil.*

Nous pourrions citer beaucoup d'autres gaz; mais ceux ci suffisent pour se convaincre, par analogie, que tous les autres se comportent de la même manière.

CHAPITRE III.

De la compressibilité.

(395) *Expériences sur les gaz permanens.* — Si les corps solides et les corps liquides ne donnent que des signes à peine visibles de compressibilité, les corps aériformes en donnent de très-évidens; ils peuvent être amenés par la compression à occuper un volume infiniment plus petit que celui qu'ils occupent naturellement ici bas. Pour s'en convaincre, il suffit de prendre un tube de verre fort, fermé à une extrémité, et dont le diamètre intérieur soit partout exactement de même grandeur. On adapte à ce tube un piston, *fig.* 132, qui puisse facilement glisser d'une extrémité à l'autre en fermant partout exactement. Le tube étant rempli d'air, si on adapte le piston à l'ouverture, et qu'on le fasse ensuite descendre en employant une certaine force, on verra qu'on peut facilement faire occuper à l'air un volume moitié moins grand que celui qu'il occupait naturellement; en employant une force plus grande, on pourra amener le fluide à un plus grand degré de compression; mais bientôt cependant on éprouvera une résistance très-considérable.

Tous les gaz permanens se comportent de la même manière que l'air atmosphérique; les vapeurs sont aussi dans le même cas, mais seulement lorsqu'elles sont portées à une température plus élevée que celle où elles se forment ordinairement; autrement, elles repassent à l'état liquide.

(396) *Expériences sur les vapeurs.* — Pour faire sur les vapeurs des expériences semblables à celles que nous venons de citer sur l'air, voici comment nous nous y sommes pris : nous avons fait chauffer le mercure de la cuve, et nous y avons disposé le tube, *fig.* 132, comme une clo-

che, pour recevoir la vapeur que nous devions préparer ; nous avons ensuite disposé sur un fourneau, une cornue A, *fig.* 130, communiquant à un tube de porcelaine, qui traversait un second fourneau, et auquel était adapté un petit tube qui plongeait dans l'appareil à mercure et se portait sous la cloche que nous y avions disposé.

Tout ainsi préparé, nous avons mis de l'eau dans la cornue et allumé le feu dans les fourneaux; après un quart d'heure, il s'est dégagé une grande quantité de vapeur parfaitement sèche et à une haute température. Nous en avons rempli l'éprouvette, à laquelle nous avons ensuite adapté le piston. Nous nous sommes, dès lors, convaincu que la vapeur, à cette température, se conduit absolument comme les gaz permanens, relativement à la compression (*).

(*) Il faut prendre garde, en répétant cette expérience, de ne pas se brûler les mains, car le mercure acquiert une très-haute température; comme d'un autre côté ce métal se vaporise, il faut aussi prendre garde de le respirer.

CHAPITRE IV.

De l'élasticité.

(397) *L'élasticité a lieu dans les gaz, par changement de volume.* — Dans les corps solides, et dans les corps liquides surtout, nous avons vu que l'élasticité n'était point le résultat d'un changement de volume, mais seulement celui d'une oscillation des molécules (180), ou d'un changement de forme (300). Nous allons faire voir, au contraire, que dans les fluides aériformes, l'élasticité n'a jamais lieu que par changement de volume.

En comprimant l'air dans le tube, *fig.* 132, on éprouve bientôt une résistance très-considérable ; cette résistance n'est pas le résultat de ce que les particules se sont rapprochées de manière à se toucher et à former, en quelque sorte, un corps solide, puisqu'en employant une force plus grande, on peut les rapprocher encore, et cela indéfiniment dans l'état actuel de la science.

La résistance qu'on éprouve provient de la tendance que possède le fluide à revenir à son premier volume, c'est-à-dire, de l'élasticité dont il est alors doué, et qui est d'autant plus forte que la condensation a été plus grande. En effet, si on cesse de presser sur le piston, on le voit revenir sur ses pas et le fluide reprendre son premier volume, si toutefois le frottement du piston sur les parois du tube n'est pas trop considérable.

La force élastique de l'air se manifeste aussi d'une autre manière; lorsqu'on a comprimé ce fluide dans un vase, et qu'on ouvre ensuite un robinet pour lui procurer une petite issue, on entend alors un sifflement d'autant plus fort que l'air avait été plus comprimé.

Emplois de la force élastique des gaz comprimés.— On a employé de plusieurs manières la force élastique de l'air comprimé; il en est résulté des machines utiles, et d'autres, qu'on voit dans les cabinets de physique, qui n'ont point encore été appliquées à nos besoins. Nous allons décrire succinctement les unes et les autres.

Fusil à vent.

(398) La principale pièce du fusil à vent est une crosse de métal, creuse et très-solide, *fig.* 133, garnie en A d'une soupape qui s'ouvre du dehors au dedans. On injecte de l'air dans cette crosse, au moyen de la petite pompe, *fig.* 134, percée en B d'un orifice par lequel l'air peut entrer. Cette pompe se monte à vis sur la crosse. Après un certain nombre de coups de piston, on la démonte, et on lui substitue le canon du fusil qui s'adapte au même pas de vis.

L'air comprimé, agissant par son ressort sur tous les points de la paroi intérieure de la crosse, maintient la soupape fermée; mais lorsque par le mécanisme de la détente on ouvre cette soupape, pendant un instant très-court il s'échappe avec vitesse une certaine quantité d'air qui chasse avec force la balle qui se trouve devant lui. La soupape est refermée à l'instant par la pression de l'air resté dans la crosse; mais elle s'ouvre de nouveau, lorsqu'on vient à presser la détente, et laisse échapper une nouvelle portion d'air qui peut produire le même effet. On peut ainsi tirer plusieurs coups de suite; mais, à mesure qu'il s'échappe de l'air, la portion qui en reste conserve moins d'élasticité, de sorte que les dernières portées sont toujours très-faibles.

(399) Des effets analogues se manifestent dans toutes nos armes à feu, où l'explosion de la poudre développe, dans un petit espace, une grande quantité de fluide aériforme, qui, en se dilatant, chasse avec force le mobile qui s'oppose à son passage.

La vitesse d'un boulet, à la sortie d'une pièce d'artillerie, est d'autant plus grande que le fluide condensé a pu agir sur lui pendant plus de temps ; c'est pourquoi, plus la pièce est longue, plus le projectile est lancé loin. Tout le monde sait que les pièces de rempart, dont la longueur est très-grande, portent beaucoup plus loin que les pièces de campagne ; on sait qu'un fusil porte plus loin qu'un pistolet. Tout cela est facile à concevoir ; car, aussitôt que le projectile est sorti de la pièce, il ne peut plus subir aucune action de la part du fluide condensé, qui se répand alors dans l'atmosphère en pure perte. Or, si la pièce est très-courte, la force élastique du fluide n'agit que pendant un instant très-court sur le mobile ; d'où il résulte pour lui moins de vitesse. La longueur de la pièce a pourtant une certaine limite, passé laquelle le frottement sur les parois commence à détruire la vitesse acquise, et la détruit ensuite successivement de plus en plus.

On emploie souvent la force élastique des fluides aériformes, condensés par un moyen quelconque, pour mettre des machines en mouvement. On trouve diverses considérations sur ce genre de moteur, dans les Ouvrages de Mécanique appliquée. Nous décrirons, dans le 5.e livre, la machine à vapeurs, et ses effets.

Fontaine de compression.

(400) C'est un vase, *fig.* 135, à parois épaisses, qu'on remplit d'eau jusqu'en *ac* ; *de* est un tube qui communique jusqu'au fond du vase, et qui est fixé en *d* dans la partie inférieure d'un robinet dont B est la clef. On visse en A la pompe, *fig.* 134, à laquelle, pour cet usage, est adaptée en *c* une soupape qui s'ouvre de haut en bas, et on injecte de l'air dans le vase ; cet air traverse l'eau et va se placer dans la partie libre qui se trouve au-dessus d'elle, où il se condense fortement. Après un certain nombre de coups de piston, on ferme

le robinet et on substitue à la pompe une espèce d'ajutage D.

L'air comprimé dans cette cavité y exerce de toutes parts une pression considérable; si on vient à ouvrir le robinet F, l'eau s'élance par l'ajutage sous la forme d'un jet qui s'élève à une très-grande hauteur.

Une petite bouteille fermée d'un bon bouchon dans lequel passe un petit tube terminé en cône à son sommet, *fig.* 136, peut facilement remplacer l'appareil que nous venons de décrire; on met de l'eau dans cette bouteille, puis on souffle par le tube pour y injecter de l'air; à l'instant où on retire les lèvres du tube, l'eau s'élance au dehors sous la forme d'un jet.

Fontaine de Héron.

(401) La fontaine de Héron n'est qu'une modification de la fontaine de compression; mais l'air y est comprimé par le jeu de la machine même.

La *fig.* 137 représente la coupe longitudinale de l'appareil : c'est un vase partagé en trois cavités dont la supérieure ABCD forme un bassin; la cavité CDEF est un réservoir qu'on emplit préalablement d'eau jusqu'en *ab* par un trou percé à la cloison CD, qu'on ferme ensuite avec un bouchon; *ed* est un tube terminé en cône qui descend jusqu'au fond de ce réservoir; EFGH est une autre cavité close comme la précédente et qui est remplie d'air; elle communique avec la cavité ABCD par le tube *fg*, et avec la cavité CDEF, par le tube *hi*.

Lorsqu'on verse de l'eau dans le bassin supérieur, le liquide s'écoule par le tube *fg* dans la cavité inférieure. L'air enfermé dans cette cavité et dans la partie ABCD, avec laquelle elle communique, se trouve resserré dans un plus petit espace; il acquiert alors une certaine force élastique, en vertu de laquelle il presse sur la surface de l'eau

ab, et force le liquide à s'élancer au dehors par le tube *ed*, sous la forme d'un jet.

On dispose aussi quelquefois la fontaine de Héron sous d'autres formes, comme, par exemple, sous celle *fig.* 138; mais, sous quelque forme que ce soit, on reconnaîtra toujours le même principe.

On a quelquefois employé en grand le principe de la fontaine de Héron, pour épuiser les eaux dans l'intérieur des mines. C'est en Allemagne qu'ont été introduites ces sortes de machines; mais on en a abandonné l'usage pour des machines plus énergiques.

MM. Girard ont employé ingénieusement l'appareil de Héron pour construire une lampe à niveau constant, qu'ils ont nommée *lampe hydrostatique*, parce qu'en effet, son mécanisme est fondé, comme celui de la fontaine de Héron, sur les principes de l'hydrostatique. Cette lampe ne diffère pas essentiellement de la machine figure 137; elle est seulement disposée d'une manière plus agréable, plus commode et plus sûre pour son objet.

La lampe que M. Humbolt a imaginé pour descendre dans les mines infectées de gaz acide carbonique, n'est encore qu'une fontaine de Héron, qui fournit à-la-fois l'air pur nécessaire à la combustion de la mèche et à la respiration du mineur.

Ludion.

(402) On nomme *ludion*, une petite figure d'émail, soutenue dans l'eau par une ampoule de verre remplie d'air, percée d'un petit trou à sa partie inférieure, et tellement proportionnée au poids de l'émail, que la petite figure soit presque en équilibre dans l'eau; mais cependant se porte toujours naturellement à la partie supérieure du vase. Le vase, figure 139, qui renferme le ludion, est fermé par une peau de vessie.

Lorsqu'on vient à presser sur la vessie, en appuyant le

pouce dessus, l'eau, qui est difficilement compressible, entre dans l'ampoule de verre par la petite ouverture et comprime l'air qui y est enfermé ; mais, en même temps, elle augmente le poids de la figure qui, dès lors, se porte à la partie inférieure du vase.

Lorsqu'on cesse de presser sur la vessie, la force élastique de l'air comprimé repousse l'eau hors de l'ampoule ; dès lors, la figure, devenue plus légère, se porte de nouveau à la partie supérieure du vase : on peut ainsi à volonté, la faire descendre et remonter dans le liquide, sans que le spectateur, qui ignore le mécanisme, puisse s'apercevoir du moyen qu'on emploie.

Machines soufflantes.

(403) La construction des diverses espèces de machines soufflantes que nous employons habituellement, ou dont on se sert dans les usines, est fondée sur l'impénétrabilité et l'élasticité de l'air. On connaît la construction du soufflet ordinaire ; ce qu'on nomme *âme du soufflet* est une soupape qui s'ouvre du dehors au dedans, et permet l'entrée de l'air, lorsqu'on écarte les deux panneaux l'un de l'autre. Lorsqu'ensuite on rapproche ces panneaux, la soupape se ferme et l'air ne peut plus sortir que par l'ajutage ; l'air comprimé ne trouvant alors qu'une issue très-petite pour s'échapper, sort avec une grande vitesse, et active considérablement la combustion dans le foyer sur lequel on le dirige.

Cette espèce de soufflet, construite sur de grandes dimensions, est encore employée par les serruriers, les maréchaux ; elle l'a été pendant long-temps dans les usines avec quelques modifications ; mais on y a ensuite substitué des *soufflets à piston*, ou espèce de pompe à air composée d'une caisse prismatique de bois, de fonte ou de marbre, dans laquelle se meut un piston garni d'une soupape, disposée de manière à permettre l'entrée de l'air pendant le mouvement dans un sens, et à l'empêcher ensuite de sortir

pendant le mouvement contraire. Ces soufflets, qui sont actuellement employés dans beaucoup d'usines, ont le grand avantage d'exiger beaucoup moins de force motrice que les soufflets ordinaires : en sorte, par exemple, que dans une usine où l'on employait trois roues hydrauliques pour mouvoir les soufflets, il suffit actuellement d'en avoir deux ; par conséquent, la troisième reste disponible.

Elasticité de l'air au degré de condensation ordinaire.

(404) Nous voyons par ce qui précède, que l'air comprimé possède une force élastique considérable. Dans tous les cas que nous venons d'examiner, il se dilate jusqu'à ce qu'il soit revenu à l'état où il se trouve habituellement autour de nous ; à ce point, il ne manifeste plus aucune espèce d'élasticité. Nous allons faire voir actuellement que l'air qui nous environne, est aussi à un certain état de condensation, et qu'il n'attend, pour manifester son élasticité, que de se trouver au milieu d'un air moins condensé.

Soit un vase, *fig.* 140, qui ne renferme que la quantité d'air dont il peut naturellement s'emplir, lorsqu'il plonge dans notre atmosphère, et dont le robinet soit fermé. Qu'on prenne une petite pompe qui ne diffère de celle, *fig.* 134, qu'en ce qu'il n'y a pas d'ouverture en B, ni de soupape à la partie inférieure ; qu'on abaisse son piston jusqu'au plus bas point de sa course, et qu'on la visse alors à l'ouverture du vase, ayant soin de mettre une rondelle de cuir imbibé d'huile à la jonction, pour fermer exactement.

Si on remonte le piston, il ne se trouvera pas d'air sous lui dans la pompe, ou du moins très-peu ; qu'on ouvre alors le robinet, on entendra, pendant quelques instans, un sifflement semblable à celui que produit l'air en sortant d'un tube où il a été comprimé ; d'où l'on doit conclure qu'il sort une partie de l'air enfermé dans le vase, ce qui ne peut avoir lieu qu'en vertu de l'élasticité. Si le sifflement s'arrête après quelques instans, c'est parce que l'air se trouve bien-

bientôt dans la pompe et dans le vase au même degré de condensation. Qu'on ferme alors le robinet, et qu'on dévisse la pompe.

L'air qui reste dans le vase est déjà moins dense que l'air qui nous environne ; il est cependant encore susceptible de manifester son élasticité ; et pour le prouver, il suffit de répéter sur lui l'expérience que nous venons de faire sur l'air au degré de condensation ordinaire. En ouvrant le robinet, on entendra encore, pendant quelques instans, le même sifflement ; mais moins fort que précédemment.

On pourra répéter successivement cette opération un certain nombre de fois ; mais, à chaque fois, le sifflement sera moins fort, et enfin à un certain point, il ne se produira plus du tout. On peut conclure alors, qu'il ne se trouve plus d'air dans le vase ; mais il sera plus exact de dire qu'il y est extrêmement raréfié.

(405) *Machine pneumatique.* — Nous venons de décrire essentiellement la *machine pneumatique* et ses effets ; mais nous avons réduit cet instrument à sa plus grande simplicité. Actuellement, nous allons lui donner une disposition plus commode.

D'abord, lorsqu'on ne veut pas faire la dépense de la machine à deux corps de pompe, que nous décrirons plus bas, on peut se contenter d'avoir une petite pompe, *fig.* 141, dont la partie inférieure est garnie d'une petite soupape *a* qui s'ouvre de bas en haut, et dont le piston *b* est percé d'un trou cylindrique très-étroit, couvert d'une soupape qui s'ouvre de la même manière.

Cette pompe étant montée sur un vase, si on fait descendre le piston, l'air se comprimera au-dessus de lui, et par suite, fermera la soupape *a*; au contraire, il soulevera la soupape *b*, et s'échappera ; de sorte que quand le piston arrivera au fond de la pompe, il ne restera plus d'air sous lui, si ce n'est dans le petit canal dont il est

percé, et que, pour cette raison, on fait toujours très-étroit.

Si on remonte le piston, l'air du vase sur lequel la pompe est adaptée, soulevera la soupape *a* par son élasticité et se répandra dans le corps de pompe; mais alors la soupape *b* restera fermée, parce que l'élasticité de l'air intérieur qui la sollicite de bas en haut, est plus faible que celle de l'air extérieur qui la sollicite de haut en bas.

Si on fait descendre le piston, l'air du corps de pompe se comprimera; il deviendra, par conséquent, plus élastique que l'air du vase, et dès lors fermera la soupape *a*; bientôt aussi, il deviendra plus élastique que l'air extérieur, soulèvera alors la soupape *b* et s'échappera. En remontant de nouveau le piston, puis le faisant redescendre, et ainsi de suite un certain nombre de fois, les mêmes effets auront lieu, et on parviendra à raréfier extrêmement l'air dans le vase. On fermera le robinet avant d'enlever la pompe.

Au lieu d'un vase, *fig.* 140, on peut se servir d'une cloche, *fig.* 142, garnie d'un robinet à sa partie supérieure; mais alors il faudra se procurer une plaque de marbre ou de verre bien plane, sur laquelle on posera la cloche, en mettant toutefois sous ses bords une rondelle de cuir imbibé d'huile.

Dans tous les cas où on emploiera la petite pompe que nous venons de décrire, il faudra opérer sur des vases d'une petite capacité.

(406) *Machines pneumatiques à deux corps de pompes.* — Dans des expériences très-exactes, ou lorsqu'on veut opérer sur de grands vases, il faut employer la machine, *fig.* 143, composée de deux corps de pompes qui aboutissent à un tube dont l'extrémité *c* se rend au milieu de la platine, sur laquelle on dispose les cloches ou les vases qu'on veut purger d'air. On met la machine en mouvement au moyen de la mani-

velle *ab*, garnie d'un pignon qui engraine dans les den taillées sur les tiges des pistons.

On peut à volonté ouvrir ou fermer la communication de la cloche avec les corps de pompe, au moyen d'un robinet placé en quelque point du tube dont *c* est l'extrémité. On ferme ou on ouvre la communication avec l'air extérieur au moyen d'un autre robinet.

d est une éprouvette qui communique avec la cloche et indique le degré de rareté de l'air. Dans la machine que représente la figure, l'éprouvette consiste en un tube de verre droit qu'on a empli de mercure et qu'on a renversé dans une petite cuvette remplie aussi de ce liquide. Le mercure reste suspendu dans le tube par la force élastique que l'air exerce à sa surface dans la cuvette ; mais, à mesure que l'air est raréfié, cette force diminue ; dès lors, le mercure retombe par son propre poids, et enfin, lorsque le vide est fait, autant que possible, il est entièrement ou presqu'entièrement redescendu dans la cuvette.

(407) *Autres expériences sur l'élasticité de l'air ordinaire.* — Au moyen des machines pneumatiques, nous allons faire encore quelques expériences propres à montrer, d'une manière évidente, l'élasticité que l'air qui nous environne manifeste, lorsqu'il se trouve porté au milieu d'un air moins condensé.

Si on enferme sous une cloche une vessie, en partie gonflée d'air et nouée à son ouverture, puis qu'on fasse le vide, on verra la vessie se gonfler successivement par la dilatation de l'air qu'elle renferme, et finir même par crever, si on y en avait d'abord trop introduit.

Ce que nous faisons avec une vessie, on peut le faire également avec une vieille pomme ridée ou des raisins secs, etc. Lorsque la raréfaction sera arrivée à un certain point, on verra ces fruits reprendre la forme et la grosseur qu'ils avaient dans leur fraîcheur. Cet effet provient de la raréfaction des fluides aériformes que ces corps renferment intérieurement.

Lorsqu'on laisse rentrer l'air sous la cloche, on voit successivement la vessie se dégonfler et redevenir flasque comme avant l'expérience. Dans le même cas, les fruits conservent momentanément la grosseur qu'ils ont acquise, mais bientôt ils se flétrissent et finissent même par se gâter, parce que leur tissu a été désorganisé par l'extension de l'air qu'ils renfermaient.

Si on place sous la cloche la petite fontaine de compression, *fig.* 136, dans laquelle l'air soit à sa densité naturelle, et qu'on fasse jouer rapidement la machine, on voit bientôt se former un jet d'eau, qui est le résultat de l'excès d'élasticité naturelle de l'air enfermé dans le petit appareil sur celle de l'air raréfié qui l'entoure.

Si on laisse rentrer l'air sous la cloche, on voit le fluide rentrer aussi dans le petit appareil, et traverser l'eau comme si on l'y injectait avec une pompe.

Tout ce que nous avons dit de l'air atmosphérique s'applique également à tous les fluides aériformes, et même aux vapeurs, lorsque pendant l'expérience, on les maintient à une température convenable.

CHAPITRE V.

De la pesanteur des fluides aériformes.

(408) Il eût été superflu, dans les livres précédens, de prouver, par expérience, que les corps solides et les corps liquides sont pesans, parce que tout le monde le sait depuis l'enfance : mais il ne le sera pas de prouver que l'air, et en général les fluides aériformes, sont dans le même cas, parce qu'il est peu de personnes qui aient eu occasion de s'en convaincre ; tellement que, dans le quinzième siècle, on niait absolument leur pesanteur, quoique les anciens eussent cependant bien connu cette vérité. Nous devons à Galilée (*) de l'avoir mis tout-à-fait hors de doute par l'expérience suivante.

Soit *fig.* 144 un ballon de verre mince, d'une grande capacité, garni d'un robinet à son ouverture. Après avoir fait le vide, aussi parfait que possible, dans ce ballon, on le pesera très-exactement ; puis après avoir laissé rentrer l'air, on le pesera de nouveau : on trouvera alors une différence en plus très-notable, qui ne peut être que le poids de l'air rentré.

(*) Galilée naquit à Pise en 1564, et mourut près de Florence, en 1642, année de la naissance de Newton. Il rendit de très-grands services à la mécanique et à l'astronomie. Ses découvertes le conduisirent à démontrer le mouvement de rotation de la terre sur son axe ; mais cette idée, dans ces temps d'ignorance, lui fit éprouver une cruelle persécution de la part du tribunal de l'inquisition, parce qu'elle semblait contrarier quelques passages, alors mal connus, de l'Écriture Sainte. Il fut obligé, à l'âge de 70 ans, de désavouer son sentiment.

(409) *Pesanteur spécifique.* — On peut faire la même expérience avec tous les fluides aériformes et avec les vapeurs, et se convaincre ainsi qu'ils sont tous pesans; mais en se servant constamment du même ballon, et y laissant rentrer de chacun des gaz tout ce qu'il en peut contenir ici bas, on remarquera facilement que ces différens corps sont plus pesans les uns que les autres. Ayant ainsi leurs poids sous le même volume, si on prend l'air atmosphérique pour unité de pesanteur spécifique, on aura, par la proportion $p : p' :: 1 : x$, la pesanteur spécifique de tous les autres.

MM. Biot et Arago ont déterminé, avec beaucoup de soin, les pesanteurs spécifiques des gaz suivans à la température 0^d.

Noms des Gaz.	Pesant. spécif.
Air atmosphérique.	1
Gaz acide carbonique.	1,51961
Gaz oxigène.	1,10359
Gaz azote	0,96913
Gaz ammoniac.	0,59669
Gaz hydrogène.	0,07321

A la température de 100^d, la pesanteur spécifique de la vapeur aqueuse, est de 0,51921.

Le décimètre cube d'air à 0^d, pèse $1^{gram.}$,2936.

(410) *Procédé fondé sur la différence des pesanteurs spécifiques pour récolter differens gaz.* — On peut actuellement comprendre le procédé que nous avons annoncé (393). Supposons qu'on veuille récolter le gaz acide carbonique; ce gaz étant plus lourd que l'air atmosphérique, tend à se porter vers la partie inférieure des vases; par conséquent, si on fait arriver le tube par lequel il se dégage, jusqu'au fond d'un flacon ouvert à sa partie supérieure, il forcera l'air atmosphérique à sortir à mesure qu'il se dégagera, et bientôt remplira à lui seul le flacon, si l'opération est continuée pendant assez de temps.

Comme le gaz acide carbonique est invisible, on peut n'être pas immédiatement persuadé que les choses se passent comme nous venons de l'indiquer ; mais on peut s'en convaincre facilement. L'air atmosphérique entretient la combustion, de sorte que si dans un flacon rempli de cet air, on plonge une allumette enflammée, elle continuera de brûler : au contraire, le gaz acide carbonique n'entretient pas la combustion, de sorte qu'une allumette enflammée qu'on y plonge, s'éteint subitement comme si on la plongeait dans l'eau. En plongeant donc une allumette enflammée dans le flacon employé, après l'opération si elle s'éteint, on doit rester convaincu de la présence du nouveau gaz ; c'est précisément ce qu'on observe.

On peut facilement transvaser le gaz acide carbonique d'un flacon dans un autre, précisément comme on transvaserait un liquide. Pour se convaincre de cette vérité, on prendra le nouveau flacon dans lequel on veut vider le gaz ; on y plongera une allumette enflammée, et on verra qu'elle y brûle parfaitement ; on versera ensuite le gaz de l'autre flacon dans celui-ci, et après cette opération, on y plongera de nouveau l'allumette enflammée : dans ce cas on verra qu'elle s'éteint subitement ; si on la plonge dans le vase qui renfermait précédemment le gaz acide carbonique, on verra qu'elle y brûle facilement.

On rencontre souvent le gaz acide carbonique dans le fond des puits de mines, où il se tient en vertu de sa pesanteur. Il est prudent, avant de se hasarder dans un puits abandonné depuis long-temps, de jeter un corps enflammé pour voir s'il brûle jusqu'au fond.

Si on veut récolter un gaz plus léger que l'air atmosphérique, par exemple l'hydrogène, on remarquera qu'en vertu de sa légèreté, ce gaz tend à se porter à la partie supérieure du vase ; on disposera donc le flacon dont on veut se servir, l'ouverture en bas, et on fera arriver le tube, par lequel le gaz se dégage, jusqu'à la partie supérieure.

DEUXIÈME SECTION.

PRINCIPES DE L'ÉQUILIBRE DES FLUIDES AÉRIFORMES.

Si l'on considère les fluides aériformes comme des corps pesans, dont les particules sont douées d'une extrême mobilité, on pourra, dans tous les points, leur appliquer tout ce que nous avons dit de l'équilibre des corps liquides, pag. 208; mais, outre la pesanteur, les fluides aériformes sont doués de la compressibilité et de l'élasticité, et présentent, en outre de cette propriété, quelques circonstances particulières que nous allons examiner dans les chapitres suivans.

CHAPITRE VI.

De la manière dont les fluides aériformes pressent sur les parois des vases qui les renferment.

(411) *Considérations théoriques.* — En vertu de l'élasticité, un fluide aériforme quelconque, d'une densité sensible, enfermé de toutes parts dans un vase, fait continuellement effort pour se dilater; par conséquent il exerce sur les parois de ce vase, du dedans au-dehors, des pressions qui dépendent de sa densité, et aussi de la température à laquelle il se trouve. (Liv 5 chap. 5)

Tant qu'on ne considère dans les fluides aériformes que l'élasticité dont ils sont doués, les pressions qu'ils exercent sont évidemment égales dans tous les points et dans toutes les directions ; mais si on leur rend la pesanteur, la pression variera d'un point à un autre suivant la hauteur de la colonne fluide au-dessus de chacun d'eux ; cependant comme les fluides aériformes sont généralement très-légers, ces variations ne sont sensibles qu'entre des points très-éloignés l'un de l'autre ; de sorte que dans les vases dont nous nous servons habituellement, la colonne fluide est trop petite pour qu'il soit possible de trouver la moindre différence de pression entre la partie la plus basse et la partie la plus élevée.

L'action de la pesanteur est ici de faire varier l'élasticité de la colonne fluide depuis sa partie inférieure jusqu'à sa partie supérieure. En effet, rendons aux fluides aériformes leur compressibilité, et supposons, pour nous expliquer plus clairement, que la colonne que nous considérons soit partagée en couches horizontales très-minces, la dernière couche qui supporte tout le poids des couches supérieures doit se trouver à un certain degré de condensation ; toutes les couches suivantes qui supportent successivement moins de pressions se trouvent aussi successivement moins comprimées, et par conséquent moins élastiques.

(412) *Expériences.* — Pour reconnaître sensiblement ces variations d'élasticité, il faut au moins opérer sur des couches distantes l'une de l'autre d'une vingtaine de mètres; or, il serait inutile de chercher à se procurer des vases de cette dimension, car il existe autour de nous une couche de fluide aériforme (*l'atmosphère*), au milieu de laquelle il est facile de faire toutes les expériences à ce sujet.

On peut d'abord faire l'expérience d'une manière assez simple ; qu'on prenne un tube de verre courbé, *fig.* 104, et qu'on y mette une certaine quantité d'eau : quand le niveau sera établi dans les deux branches, que l'on ferme l'une d'elles avec une peau de vessie mouillée et fixée so-

lidement. Après cette opération, le niveau subsistera toujours, parce que l'élasticité de l'air, qui se trouve dans la branche fermée, fait équilibre à l'élasticité de l'air extérieur; mais si on transporte cet appareil au haut d'une montagne, d'une tour, d'une maison, on remarquera que le niveau n'existe plus et que le liquide s'élève plus, dans la branche ouverte que dans la branche fermée; d'où l'on doit conclure que l'air qui se trouve dans cette dernière branche s'est dilaté, et, par conséquent, que la couche d'air, au milieu de laquelle on s'est transporté, est moins élastique que celle d'où l'on est parti.

Si on s'élève à une hauteur plus considérable, la différence de niveau est encore plus sensible, en sorte qu'il est probable que dans les régions très-élevées de l'atmosphère, l'élasticité de l'air est absolument zéro. On trouve par la formule barométrique de M. Laplace, qu'à la hauteur de 52986 mètres (environ 13 lieues moyennes), l'air est aussi rare que dans le vase où l'on a fait le vide aussi parfait que possible (*).

(413) *Pressions sur les parois des vases de petites dimensions.* — On peut dire, en général, qu'un fluide aériforme, enfermé de toutes parts dans un vase de petite dimension, presse également sur tous les points de la paroi, en raison de l'élasticité à laquelle il se trouve, sans

(*) Lorsqu'on s'élève sur de très-hautes montagnes, on éprouve, à cause de la rareté de l'air, un malaise particulier, une gêne dans la respiration, et par suite une défaillance totale; on éprouve aussi dans tous les membres un gonflement particulier, dû probablement à la dilatation des fluides intérieurs du corps; ce que l'on peut conclure, par analogie, des expériences rapportées sous le n.° 407.

Il est probable que quelqu'un habitué à vivre sur les hautes montagnes, au milieu d'un air très-raréfié, serait au contraire suffoqué en descendant dans la plaine, par la trop grande quantité d'air qu'il aspirerait à-la-fois.

avoir aucun égard aux variations occasionnées par la pesanteur.

Dans un vase ouvert en un point quelconque, on peut absolument dire la même chose ; mais il faut remarquer que, dans ces sortes de vases, le fluide ne peut jamais être à une densité différente de celle de la couche d'air, au milieu de laquelle se fait l'expérience ; or, comme cette densité est déterminée par la pression des couches supérieures, on a coutume de dire en pareil cas, que la pression que supporte un point quelconque, est égale au poids d'une colonne fluide dont il serait la base, et dont la hauteur serait déterminée par celle de l'atmosphère au-dessus de lui. On peut dire la même chose à l'égard d'un vase fermé, toutes les fois que le fluide aériforme qui y est contenu, est à la même densité que l'air environnant.

(414) *Du mélange des gaz.* — Tout ce que nous avons dit de la pression d'un fluide aériforme, enfermé seul dans un vase et amené à différens degrés de densité, s'applique également aux mélanges de différens fluides : on doit concevoir, en effet, que si dans un vase où se trouve une certaine quantité d'un fluide aériforme quelconque, on en introduit un autre, on ne fait qu'augmenter la densité du premier, et, par conséquent, son élasticité.

Il peut arriver dans ces mélanges, que les fluides, en vertu de leur différence de pesanteur spécifique, se séparent et se disposent les uns au-dessus des autres en couches horizontales, les plus pesants occupant les parties les plus basses ; mais alors ces fluides se compriment mutuellement jusqu'à ce qu'ils soient au même degré d'élasticité. Si, au contraire, les fluides se mêlent régulièrement dans toute la masse, les particules, logées les unes entre les autres, se compriment encore, et il s'établit entr'elles un équilibre d'élasticité.

CHAPITRE VII.

De la pression de l'atmosphère à la surface de la terre, et de ses différens effets.

(415) Si la pression de l'atmosphère sur les divers objets qui nous entourent et sur nous-mêmes, n'est pas ordinairement sensible, c'est parce qu'agissant de tous côtés, elle se fait à elle-même équilibre. Par exemple, si un cube d'une matière quelconque est suspendu dans l'air, il supporte sur ses faces latérales des pressions égales et opposées qui se détruisent; il supporte sur sa face supérieure une pression de haut en bas, qui est en partie détruite par la pression de bas en haut qui a lieu sur sa face inférieure; mais la pression inférieure est un peu plus forte que la pression supérieure, parce que la colonne d'air qui la détermine est plus grande de toute la hauteur du cube; par conséquent, le cube proposé est poussé réellement de bas en haut par une force qui lui fait perdre une partie de son poids, précisément égale au poids du volume d'air qu'il déplace. Donc, l'atmosphère, au lieu d'agir sur le corps pour augmenter sa tendance à descendre vers le centre de la terre, agit, au contraire, pour la diminuer.

Ce que nous disons d'un cube suspendu dans l'air, peut être également appliqué à un cube qui repose par une de ses faces sur un plan; car, ordinairement, il existe toujours entre cette face et le plan une petite couche d'air dont l'élasticité fait équilibre à la pression des couches supérieures. S'il arrivait que les deux surfaces joignissent parfaitement, et qu'il n'y eût point d'air entr'elles, ou qu'il y fût très-raréfié, la pression de bas en haut étant considéra-

blement diminuée, on apercevrait, d'une manière très-énergique, celle qui a lieu de haut en bas. Aussi, lorsqu'on fait le vide sous la cloche, *fig.* 142, remarque-t-on, dès les premiers coups de piston, qu'elle adhère fortement au plan qui la supporte, et que son adhérence devient plus forte à mesure que le vide approche d'être plus parfait.

On fait aussi cette expérience d'une autre manière, au moyen de deux hémisphères creuses, *fig.* 145, qu'on nomme *hémisphères de Magdebourg*, et qui peuvent se réunir en *ab* pour former la sphère complète. Un robinet *c* permet de faire le vide entr'elles, et de l'y conserver. Lorsque le vide est fait, il n'est plus possible de séparer les hémisphères, à moins d'employer une force très-grande, et alors, à l'instant de la séparation, il se produit un bruit très-fort, occasionné par la rentrée subite de l'air. Nous avons aussi un exemple très-familier de cet effet, car on sait qu'une clef dans laquelle on a fait une succion, s'attache aux lèvres avec beaucoup de force (*).

Du baromètre.

(416) *Construction du baromètre.* — Cet instrument, dont le nom est formé de *βάρος poids* et de *μέτρον mesure*, sert à mesurer la pression que l'air exerce sur un point quelconque de la surface de la terre. Pour conduire graduellement à sa construction, soit, *fig.* 146, un tube A ouvert

(*) On serait peut-être tenté, d'après ces expériences, de croire que les adhérences que nous avons reconnues entre les corps solides (116), entre les solides et les liquides, (301) sont des effets de la presssion de l'air; mais, pour se convaincre qu'il n'en est pas ainsi, il faut disposer les corps ainsi joints sous une cloche purgée d'air, et on verra alors que pour les séparer, on sentira presque la même résistance que lorsqu'ils sont plongés dans ce fluide. Nous disons presque la même résistance, parce qu'en effet, la pression de l'atmosphère y influe bien un peu.

aux deux bouts, et plongé dans un vase rempli d'eau ; le liquide se mettra dans le tube au même niveau que dans le vase, à l'effet de la capillarité près. La pression de l'atmosphère ne saurait s'opposer à cet établissement de niveau, parce qu'elle agit également à l'intérieur du tube et à l'extérieur ; mais si on fait une succion dans le tube, on diminuera l'élasticité de l'air qui y est enfermé ; dès lors, l'équilibre sera rompu et le liquide s'élevera dans ce tube, jusqu'à ce que son poids, plus l'élasticité de l'air restant, fassent équilibre à la pression de l'atmosphère.

Dans le temps où on niait la pesanteur de l'air, on attribuait l'élévation des liquides dans les tubes où l'on fait une succion, *à une sorte d'horreur que la nature avait pour le vide.*

Si, au lieu d'eau, on met du mercure dans le vase, on aura un phénomène semblable, à cette différence près que le mercure étant treize fois et demie plus pesant que l'eau, il s'élevera treize fois et demie moins haut que ce liquide, pour une même succion.

Si on prenait un tube d'une certaine longueur et qu'on pût y faire par aspiration un vide parfait, il est évident que le liquide s'y éleverait jusqu'à ce que le poids de la colonne fit équilibre à la pression totale de l'atmosphère, dont on aurait ainsi une évaluation. Or, on fait cette expérience d'une manière fort simple avec le mercure.

On prend un tube de verre de près d'un mètre de hauteur fermé à une extrémité ; on le remplit de mercure ; puis, appliquant le doigt sur l'extrémité ouverte, on le retourne et on le plonge dans une petite cuvette comme celle que nous avons employée, ou d'une forme plus appropriée, comme fig. 159, remplie de mercure. Aussitôt qu'on retire le doigt, le liquide descend de lui-même jusqu'à ce qu'il n'en reste plus dans le tube qu'une colonne dont le poids fait précisément équilibre à la pression de l'atmosphère. C'est cet appareil qui prend le nom de *Baromètre.* La hauteur de la colonne se mesure à partir du niveau du

liquide dans la cuvette. A Paris, cette hauteur est, valeur moyenne, de $0^m,763$.

Cette belle expérience, qui a détruit l'idée ridicule de l'horreur de la nature pour le vide, a été faite en Italie, en 1643, par Toricelli, disciple du grand Galilée; elle fut répétée en France, en 1646, par Mersenne et Pascal (*). Ce dernier conçut l'idée de la faire sur une haute montagne (*le Puy-de-Dôme*), pour reconnaître si le phénomène était véritablement dû à la pression de l'atmosphère; car, disait-il, s'il en est ainsi, l'air étant plus rare à la cime de la montagne que dans la plaine, la colonne de mercure doit y être plus courte; c'est ce qu'il observa effectivement. C'est d'après cette expérience, que Pascal conçut l'idée de faire servir le baromètre à la mesure des hauteurs.

(417) *Élévation des autres liquides en vertu de la pression de l'atmosphère.* — Connaissant la hauteur $0^m,763$ de la colonne de mercure dans le tube du baromètre, et le rapport de pesanteur spécifique du mercure aux autres liquides, il est facile de déterminer, par le calcul, la hauteur à laquelle ces liquides s'élèveraient en vertu de la même pression; car, ces hauteurs (ou volumes) sont en raison inverse des pesanteurs spécifiques. On sait, par exemple, que la pesanteur spécifique de l'eau est à celle du mercure dans le rapport de 1 à 13,586; on fera donc la proportion, 1 (pes. sp. de l'eau): 13,586 (celle du mercure) : : $0^m,763$ (hauteur du mercure dans le baromètre) : x (hauteur de

(*) Blaise Pascal naquit à Clermont en Auvergne, en 1623. A l'age de 12 ans, il parvint, sur la simple définition des mathématiques, et par la seule force de son génie, jusqu'à la 32.e proposition d'Euclide; il n'avait pas encore 16 ans, qu'il composa un traité des sections coniques, qui n'a pas été imprimé, et qui a été regardé comme un prodige de sagacité. Retiré de bonne heure à l'abbaye de Port-Royal, il y composa les *Lettres provinciales*, chef-d'œuvre de littérature. Il mourut à Paris, en 1662.

l'eau, $x = 10^m,366$. La hauteur de la colonne de mercure étant variable dans les différens lieux et dans les différens temps, la hauteur de la colonne d'eau variera également.

Pompe aspirante ; pompe aspirante et foulante.

L'élévation de l'eau dans ces sortes de pompes qu'on attribuait, avant Toricelli, à l'*horreur de la nature pour le vide*, n'est qu'un effet très-simple de la pression de l'atmosphère qui force le liquide à s'élever dans le vide à la hauteur de $10^m,4$.

(418) *Dans la pompe aspirante*, *fig.* 147, le piston est garni d'une soupape F qui s'ouvre de bas en haut. La partie ABCD, où se meut ce piston, se nomme *corps de pompe ;* celle GHIR se nomme *tuyau d'aspiration*. Il y a une soupape en E à la jonction des deux tuyaux, ou bien en HI, au niveau de l'eau. Ces soupapes s'ouvrent aussi de bas en haut.

Lorsqu'on soulève le piston, l'air contenu dans la partie ABCD se raréfie ; dès lors, l'air du tuyau d'aspiration GHIR, soulève la soupape E et se répand dans le corps de pompe ; de sorte que la raréfaction se trouve bientôt la même dans toute la capacité de la pompe. Mais alors, comme l'élasticité de l'air intérieur ne fait plus équilibre à la pression de l'atmosphère, l'eau s'élève d'une certaine quantité dans le tuyau d'aspiration.

En faisant ensuite descendre le piston, l'air qui se trouve au-dessous, se comprime, et la soupape E se ferme ; bientôt cet air acquiert, par la compression, assez d'élasticité pour soulever la soupape F et s'échapper. En soulevant de nouveau le piston, la soupape F se ferme, la soupape E s'ouvre, et l'air dilaté permet encore à une certaine quantité d'eau de s'élever dans la pompe. En réitérant cette manœuvre, l'eau finit par parvenir en E, et par passer dans le corps de pompe ; bientôt elle parvient à la soupape F, la soulève et passe au-dessus d'elle ; chaque coup de piston

en fait ensuite passer une nouvelle quantité ; de sorte qu'en continuant, on pourrait élever, au-dessus du piston, une colonne d'eau considérable, jusqu'à ce qu'enfin son poids s'opposât à la manœuvre. On doit concevoir qu'en faisant monter le piston, il faut soulever avec lui le poids de la colonne liquide qui se trouve au-dessus, plus le poids de l'atmosphère (*). On dispose, en quelque point du tuyau supérieur, un dégorgeoir S, par lequel le liquide s'échappe.

NO étant le plus bas point de la course du piston, la distance NH de ce point au niveau de l'eau, ne doit pas être plus grande que 10 mètres, sans quoi le liquide n'arriverait jamais à la soupape F, puisque la colonne d'eau que la pression de l'atmosphère peut soutenir, n'est que de $10^m,366$, en supposant même que le baromètre marque $0^m,763$; sur une montagne élevée, où la pression de l'atmosphère est plus petite, la distance NH devrait être encore moindre pour que la pompe pût faire son effet. Cette théorie est vérifiée par l'expérience journalière des fontainiers.

(419) *Cas où la pompe refuse de faire son effet.* — La soupape E se place tantôt à la jonction du corps de pompe et du tuyau d'aspiration, tantôt un peu au-dessus

(*) La charge que supporte le piston est égale au poids de la colonne liquide qui se trouve au-dessus de lui, plus le poids de l'atmosphère, c'est-à-dire, plus le poids d'une colonne d'eau de $10^m,366$ de hauteur dont le piston serait la base; mais cela suppose que la colonne liquide NH, qui se trouve au-dessous de lui, fasse parfaitement équilibre à la pression que l'atmosphère exerce à la surface MP, sans quoi le piston serait aussi sollicité de bas en haut par une force qui détruirait une partie de la charge qu'il supporte de haut en bas ; cette force serait évidemment égale à la différence de poids entre la colonne liquide $NH = 10^m,366$ et $NH < 10^m,366$.

du niveau de l'eau ; dans l'un et l'autre cas, il peut arriver que l'eau, parvenue à un certain point, en *ab* par exemple, s'arrête tout à-coup et ne puisse s'élever davantage, quoique la distance AH soit moindre que 10 mètres. Voici comment cela peut se faire.

Le piston étant au plus haut point de sa course, et l'eau étant parvenue en *ab*, la force élastique de l'air intérieur, plus le poids de la colonne d'eau, équivalent à la pression de l'atmosphère. S'il arrive, par la construction de la pompe, que la raréfaction de l'air intérieur soit telle que le piston étant revenu en NO, au plus bas point de sa course, le ressort de l'air qui se trouve au-dessous de lui, soit égal à celui de l'air extérieur, la soupape F ne s'ouvrira pas ; de sorte que si on relève le piston, l'air ne sera pas plus dilaté que la première fois ; par conséquent, l'eau ne pourra plus monter.

Pour remédier à cet effet, il faudrait que le piston pût descendre un peu plus bas que NO, afin de comprimer davantage l'air; ou bien il faudrait qu'il pût s'élever un peu au-dessus de AD, afin que l'air pût se dilater davantage..

En soumettant cette anomalie au calcul, on trouve que pour qu'une pompe aspirante fasse toujours son effet, il faut qu'on ait : $\left(\frac{AH}{2}\right)^2 < AN \times h$ (h est la hauteur de l'eau calculée d'après celle du baromètre au lieu d'observation), c'est-à-dire, que *le carré de la moitié de la distance entre le plus haut point de la course du piston et le niveau de l'eau, doit être moindre que le jeu du piston multiplié par la hauteur à laquelle l'eau s'éleverait dans le vide, en vertu de la pression de l'atmosphère au lieu d'observation.*

(420) Dans *la pompe aspirante et foulante*, fig. 148, le piston n'a point de soupape. Lorsqu'il s'élève dans la pompe, il raréfie l'air et produit l'ascension de l'eau dans le tuyau d'aspiration. Lorsqu'il descend, il foule l'air de-

vant lui, et le force à s'échapper en soulevant la soupape F, qui s'ouvre du dedans au dehors.

Lorsque l'eau est parvenue dans le corps de pompe, elle est de même foulée par le piston, et chassée dans le tuyau montant, dans lequel elle peut être portée à une hauteur considérable jusqu'à ce qu'enfin son poids s'oppose à la manœuvre; on doit voir que quand le piston descend, il a à mouvoir tout le poids d'une colonne liquide dont il est la base, et dont la hauteur est déterminée par celle de la colonne enfermée dans le tuyau montant.

On lit dans divers ouvrages de physique, que l'élévation de l'eau, au moyen de la pompe aspirante et foulante, n'est plus limitée à $10^m,366$, par conséquent que cette pompe est plus avantageuse que la première. Cette manière de prouver son avantage n'en donne pas une idée exacte; mais il faut remarquer que la force qu'il est nécessaire d'employer pour fouler l'eau dans le tuyau montant, est simplement égale au poids d'une colonne liquide qui aurait le piston pour base, et pour hauteur l'élévation de l'eau dans le tuyau : la pression de l'atmosphère n'y influe, en rien, parce qu'elle agit au-dessus du piston comme au-dessous, d'après la disposition des deux tuyaux. Au contraire, dans la pompe aspirante, on a à soulever à-la-fois le poids de la colonne liquide qui se trouve au-dessus du piston, plus le poids de l'atmosphère, qui équivaut à celui d une colonne d'eau de $10^m,366$.

Le véritable avantage de la pompe aspirante et foulante sur celle qui est simplement aspirante, est donc, qu'au moyen de la première, on peut, avec la même force, élever l'eau à $10,^m366$ plus haut qu'au moyen de la seconde.

Cette pompe a sur la pompe foulante simple (298) cet avantage, que s'il arrive un accident au corps de pompe, on peut le réparer plus facilement, puisque ce tuyau est hors de l'eau.

Du siphon.

(421) Le siphon est un tube courbé, *fig.* 149, à branches inégales, dont on se sert souvent pour transvaser les liquides. La branche la plus courte plonge dans le liquide proposé; on fait à l'extrémité de la plus longue une succion pour y raréfier l'air, et amener le liquide jusqu'à l'ouverture A, par laquelle il s'établit un écoulement qui ne finit que quand le niveau du liquide, dans le vase, s'est abaissé jusqu'en *a*; alors l'air rentre dans le tube.

Pour concevoir comment l'écoulement a lieu, il faut remarquer que la force qui, en B, presse le liquide et le sollicite à s'élever en C, est égale à la pression de l'atmosphère moins le poids de la colonne liquide CB, et que la force qui, en A, sollicite le liquide à remonter en C, est égale à la pression de l'atmosphère, moins le poids de la colonne C A. Or, cette dernière colonne étant plus grande que C B, il en résulte que la force effective qui agit en A, est plus petite que celle qui agit en B : il s'établit un écoulement en vertu de cette différence.

On doit bien concevoir que, pour que le siphon produise son effet, la distance du sommet C, au niveau du liquide, ne doit pas excéder la hauteur à laquelle ce liquide peut être soutenu par la pression de l'atmosphère : cette hauteur est de $10^{m},366$ pour l'eau, et $0^{m},763$ pour le mercure.

On a trouvé moyen de prendre une petite quantité de liquide à la partie courbe du siphon; de sorte que, sans mécanisme quelconque, on peut, dans beaucoup de circonstances, élever continuellement un filet d'eau à 8 à 9 mètres au-dessus du niveau d'une rivière, d'un lac, etc.; mais je ne sache pas qu'on ait jamais établi cet appareil en grand, quoique je connaisse en France plusieurs endroits où la disposition du terrein le rend possible.

Pour l'usage habituel, on donne au siphon une disposition plus commode, *fig.* 150. Celui qui fait usage de cet appareil ferme l'orifice A avec son doigt, pendant qu'il fait la succion en D, il voit le liquide monter dans cette nouvelle branche, et peut se retirer avant qu'il arrive à sa bouche.

Siphon intermittent.

(422) On nomme ainsi un siphon disposé dans un vase, de manière à ce qu'il puisse produire son effet de lui-même lorsque le liquide est arrivé à une certaine hauteur. On voit cette disposition *fig.* 151; la branche la plus courte aboutit au fond du vase, et la plus longue se porte au dehors.

A mesure qu'on verse de l'eau dans le vase, ce liquide s'élève dans la branche du siphon; lorsque son niveau est arrivé au-dessus du point C, la pression qu'il exerce le force à s'écouler par la branche C A; s'il est versé assez abondamment, il la remplit bientôt : dès lors le tube courbé fait l'office du siphon ordinaire, et l'écoulement se continue jusqu'à ce que le niveau du liquide soit ramené en *a*. A ce point, l'écoulement s'arrête; mais il recommence aussitôt que l'eau parvient de nouveau au-dessus du point C, pour s'arrêter encore et recommencer ensuite. De là, le nom de siphon intermittent.

Pendant long-temps le siphon intermittent n'a été qu'un objet d'étude et de curiosité; il était appliqué dans les cabinets de physique à un verre à pied ou à un vase quelconque, comme *fig.* 152, qu'on nommait *verre à Siphon*, *verre à diabètes*, *vase de Tantale*; mais, en 1776, il fut appliqué d'une manière très-ingénieuse par M. Garipuy fils, à la grande retenue d'eau du canal du Languedoc, pour épancher la surabondance des eaux, lorsque, par l'effet de quelque orage, leur niveau s'est élevé au-dessus du point où il se tient ordinairement.

C'est ainsi que des expériences qui paraissent d'abord inutiles trouvent ensuite des applications de la plus grande importance.

M. Mannoury d'Ectot vient d'appliquer le siphon intermittent à diverses machines dans lesquelles il n'entre aucunes parties mobiles, et qui produisent des effets qu'on était loin d'avoir prévus; sans doute ces machines, qui ne sont encore que curieuses, acquerront un jour une perfection qui les rendra très-utiles (*voyez le rapport de l'Institut.*)

Tâte-liqueurs, chantepleur ou pompe des celliers.

(423) On nomme ainsi un petit instrument, *fig.* 153, dont on se sert souvent pour prendre une petite quantité de liquide au milieu d'une masse plus grande. Pour cela, on plonge l'instrument dans le liquide qui s'y élève en vertu de la pression de bas en haut, et avant de le retirer, on ferme l'extrémité supérieure avec le pouce. On remarque alors qu'il reste dans le tube une certaine quantité de liquide qui y demeure suspendue tant que l'on tient l'ouverture B fermée, et qui s'écoule aussitôt qu'on la découvre.

Pour concevoir ce phénomène, supposons d'abord que le tube soit rempli de liquide depuis A jusqu'en B ; lorsque l'ouverture B est fermée, le liquide n'est sollicité de haut en bas que par son poids; or, la pression de l'atmosphère agit en A, de bas en haut, avec une force égale au poids d'une colonne d'eau de 10 mètres, qui aurait A pour base; il n'est donc pas possible que la colonne liquide AB puisse s'écouler, à moins que sa hauteur ne soit plus grande que 10 mètres, et, dans ce cas, il s'en échapperait seulement une partie.

Lorsqu'on découvre l'ouverture B, les pressions de l'atmosphère se trouvent égales de part et d'autre et se détruisent; alors le liquide s'écoule en vertu de son poids.

Lorsque le tube ne renferme qu'une colonne liquide

AC, les mêmes phénomènes auront encore lieu; en effet, au premier moment, l'élasticité de l'air qui se trouve de C en B fait équilibre à la pression de l'atmosphère; dès lors, le liquide s'écoule en vertu de son poids: mais à peine en est-il sorti quelques gouttes, que l'élasticité de l'air intérieur est diminuée; bientôt il arrive un moment où la force élastique de l'air, plus le poids de la colonne liquide, fait équilibre à la pression de l'atmosphère; dès lors tout écoulement cesse.

Tout le monde sait que si on perce un tonneau par le côté sans lui donner d'air en dessus, le liquide qu'il renferme ne s'écoule pas s'il remplit exactement la capacité; s'il ne la remplit pas, en sorte qu'il se trouve un peu d'air au-dessus, l'écoulement a lieu pendant quelques instans, après quoi il s'arrête, à moins que le trou qu'on a percé ne soit assez grand pour permettre à l'air extérieur de s'introduire, en glissant au-dessus de la veine liquide: ces effets s'expliquent de la même manière que les précédens.

C'est aussi parce que la pression de l'atmosphère agit de bas en haut, sans pouvoir agir de haut en bas, que l'eau ou le mercure, restent suspendus dans les cloches dont on se sert pour récolter les gaz (393).

(424) *Entonnoir magique.*—Cet instrument, *fig.* 154, est construit d'après les mêmes principes que le chantepleur. C'est un entonnoir à double paroi, qui n'est pas percé au fond de sa cavité apparente. On introduit par le tube A un liquide quelconque qui se répand entre les deux parois par l'ouverture C. Il y a en B un petit trou qu'on ferme à volonté avec le pouce.

Lorsque l'intervalle des deux parois est rempli, si on tient l'ouverture C fermée, il n'y a point d'écoulement; mais aussitôt qu'on lève le pouce, l'écoulement a lieu, et on peut l'arrêter à volonté en fermant de nouveau l'ouverture.

Les charlatans, pour amuser leurs spectateurs, introduisent du vin entre les deux parois, puis tenant toujours

le pouce appliqué sur l'ouverture C, ils font mettre de l'eau dans la cavité apparente ; lorsqu'ils soulèvent ensuite un peu le pouce, il s'écoule du vin au lieu d'eau, au grand étonnement de l'assemblée.

Fontaine intermittente.

(425) C'est encore un instrument des charlatans, qui est construit d'après les principes précédens, et qui est représenté *fig.* 155 ; la partie AB est un vase partagé en deux cavités qui communiquent entr'elles par un trou T ; un tube CD s'élève au-dessus de la cloison et se porte jusqu'au haut de la boule F dans laquelle on met de l'eau jusqu'en *ab*. Cette boule est garnie de petits conduits *c*, *d*... qui laissent couler l'eau dans le vase inférieur, et épanchent plus de ce liquide dans un temps donné, qu'il n'en peut passer dans le même temps par le trou T.

Cela posé, le liquide écoulé par les conduits *c*, *d*...... ne pouvant passer dans le même temps par le trou T, s'élève bientôt au-dessus de l'échancrure *c* ; dès lors, l'écoulement s'arrête, parce que l'intérieur de la boule n'a plus de communication avec l'atmosphère : cependant le liquide amassé dans le bassin s'écoule petit à petit par le trou T, et bientôt l'échancrure *c* se trouve de nouveau à découvert ; alors l'écoulement de l'eau recommence ; bientôt après il s'arrête pour recommencer encore, et ainsi de suite jusqu'à ce qu'il n'y ait plus d'eau dans la boule.

On peut faire une expérience analogue d'une manière extrêmement simple : qu'on prenne une bouteille, qu'on choisisse un bouchon qui la ferme exactement, qu'on fasse passer dans ce bouchon un tube de verre qui déborde, de part et d'autre, de deux ou trois centimètres ; qu'on mette une certaine quantité d'eau dans la bouteille et qu'on la bouche. En la renversant ensuite, on verra le liquide s'écouler pendant quelques instans, puis s'arrêter ; mais bien-

tôt on verra l'air rentrer par le tube et traverser l'eau; alors l'écoulement recommencera, puis l'air rentrera de nouveau; et ainsi de suite.

(426) *Fontaine intermittente naturelle.* — On croit pouvoir expliquer, par le mécanisme de cet instrument et celui du siphon intermittent, les fontaines naturelles périodiques que l'on connaît en divers endroits; il est de ces fontaines qui donnent de l'eau pendant plusieurs jours ou plusieurs mois et s'arrêtent ensuite pendant un temps plus ou moins long, puis recommencent à couler. Il en est d'autres qui s'arrêtent et recommencent à couler plusieurs fois dans une heure. Ces fontaines ont reçu, en général, le nom de *Fontaines intermittentes* ou de *fontaines périodiques;* le peuple les nomme *fontaines miraculeuses.*

Pour expliquer ces effets, on conçoit une cavité qui communique avec une fente de rocher qui puisse faire l'office d'un siphon intermittent, comme, par exemple, *fig.* 156; en sorte que, quand le niveau de l'eau serait arrivé en *ab*, la fontaine commencerait à couler et continuerait jusqu'à ce que le niveau soit abaissé en *cd*; après quoi elle s'arrêterait pendant tout le temps que la cavité mettrait à se remplir de nouveau.

On compare les fontaines qui s'arrêtent et coulent plusieurs fois en peu d'instans, à la fontaine intermittente de nos cabinets de physique.

On ne sait pas jusqu'à quel point ces explications sont fondées.

CHAPITRE VIII.

Des corps qui flottent dans les fluides aériformes.

(427) *Corps qui flottent en vertu de leur légèreté spécifique.* — Si dans un vase rempli d'eau et de mercure, on vient à jeter un morceau de fer, on verra ce métal traverser toute la colonne aqueuse, et s'arrêter à la surface du mercure où il flotte avec facilité. De même, si dans le fond d'un vase rempli d'air, on introduit une certaine quantité de gaz acide carbonique, il pourra se faire que certains corps qui traversent facilement l'air atmosphérique, s'arrêtent et flottent à la surface du gaz acide carbonique, qui est plus lourd que lui. C'est, par exemple, ce qui a lieu avec les bulles de savon.

Les corps qui sont spécifiquement plus légers que l'air atmosphérique, sont aussi susceptibles de s'élever au milieu delui. Nous en avons un exemple, aujourd'hui familier, dans les ballons, au moyen desquels on peut s'élever dans les airs, à une très-grande distance. Les ballons ordinaires sont composés d'une sorte de grande vessie de taffetas gommé que l'on gonfle avec le gaz hydrogène (air inflammable) (*). Un filet passe sur ce globe et soutient la nacelle. Une soupape de sûreté, placée à la partie supérieure,

(*) Ce qu'on nomme taffetas gommé sont des étoffes de soie, de lin ou de coton, enduites d'un vernis gras très-souple. Le vernis dont on se sert pour les ballons renferment beaucoup de caoutchoux. (*Gomme élastique.*)

laisse échapper le gaz à mesure qu'il se dilate en passant dans les couches de moins en moins denses, et prévient ainsi la rupture de l'enveloppe, que cette dilatation occasionnerait bientôt.

La première machine aérostatique fut inventée par Montgolfier : de là, le nom de Montgolfière qu'on lui a donné; mais cette machine est très-différente de celle que nous venons de citer : elle consiste en une enveloppe légère, ouverte à sa partie inférieure, sous laquelle se trouve un fourneau où l'on allume du feu. La chaleur dilate l'air enfermé naturellement sous l'enveloppe qui, dès lors, se gonfle considérablement, et acquiert par là une légèreté spécifique en vertu de laquelle elle s'élève dans l'atmosphère, entraînant avec elle le fourneau et le combustible qui doit l'alimenter.

(428) *Corps qui flottent en vertu de leur extrême division.* — Il faut bien distinguer les corps qui flottent dans l'atmosphère en vertu de leur légèreté spécifique, de ceux qui y restent simplement suspendus pendant quelque temps, comme une matière très-divisée reste suspendue dans un liquide. La fumée, les nuages, les poussières, etc., sont dans ce cas.

La fumée est un charbon extrêmement divisé, qui est entraîné hors des tuyaux des cheminées, et comme lancé dans l'atmosphère sous la forme de nuages, par l'air que la chaleur du foyer a dilaté. Cet air dilaté étant moins dense que l'air environnant, s'élève dans les cheminées avec une certaine vitesse, et entraîne avec lui une grande partie des produits de la combustion.

A peine la fumée est-elle arrivée au-dessus de la cheminée, et hors du courant qui l'entraînait, qu'on aperçoit sa tendance à se précipiter sur la terre; mais alors le moindre vent la disperse dans l'atmosphère, et on ne voit plus immédiatement ce qu'elle devient. Il paraît cependant assez évident qu'elle doit finir par se déposer, après avoir resté suspendue pendant plus ou moins de temps; c'est ce

que prouve une jolie observation qu'il est facile de répéter soi-même.

Pendant l'hiver, et lorsque la campagne est couverte de neige, il faut examiner de quel côté le vent pousse les fumées qui s'échappent des cheminées de Paris, et après l'avoir reconnu, se transporter à une lieue de la ville, dans les champs qui se trouvent sur cette direction. Si on goûte alors la neige qui est répandue sur la terre, on lui trouvera une saveur de suie et de fumée extrêmement forte. On m'a dit qu'à Londres, où l'on brûle habituellement du charbon de terre, la saveur de fumée est encore plus forte, et que la neige même est très-sensiblement colorée. Je n'ai aucune peine à le croire; car au milieu même de la ville, il tombe continuellement de petits flocons de noir de fumée dont on a souvent le visage et les mains barbouillés.

Les nuages. Nous verrons dans le livre 5 que la chaleur fait passer les liquides à l'état de vapeur, qui se mélange ensuite avec l'air atmosphérique, comme les gaz se mélangent entr'eux.

Lorsque la température vient à diminuer dans quelque point de notre atmosphère, la vapeur qui s'y trouve tend à repasser à l'état liquide; mais les particules d'eau se trouvant logées entre les particules d'air, éprouvent de la part de ce fluide un obstacle à leur réunion en masse; de sorte qu'il se forme de petits globules extrêmement déliés, séparés les uns des autres par une petite couche d'air. Les brouillards, les nuages, sont des amas de ces petits globules qui flottent dans l'atmosphère pendant plus ou moins de temps, jusqu'à ce qu'enfin ils se déposent lentement à la surface de la terre, ou se résolvent en pluie.

Les poussières. Tout le monde a dû remarquer la quantité énorme de poussière que le vent soulève sur les chemins, et qu'il transporte à quelque distance dans la campagne; c'est surtout dans le Midi de la France qu'on peut observer en grand ces effets. J'y ai vu souvent, pendant

des journées entières, l'air obscurci par un brouillard de poussière, et à une distance très-considérable de l'endroit d'où elle pouvait être enlevée par les vents. On parle aussi, dans diverses relations de voyage, de nuages de poussières très-volumineux qui flottent au-dessus des plaines sablonneuses de l'Égypte.

Mais, outre ces poussières qui se présentent toujours à l'œil d'une manière évidente, et qui ne restent jamais pendant long-temps suspendues, parce que leurs particules sont extrêmement grossières, il flotte continuellement dans l'atmosphère une multitude de petits corpuscules excessivement fins, qu'on n'aperçoit bien que dans une chambre où il passe un rayon de soleil. Il semble que plus la chaleur est forte, plus le nombre des corpuscules est considérable. Ils sont beaucoup plus rares en hiver qu'en été.

On ignore absolument la nature de cette poussière fine. Peut-être est-ce un mélange de matière inerte extrêmement divisée, et de germes extrêmement fins de diverses espèces d'êtres organisés, comme des œufs d'insectes, des semences de plantes, et même la poussière fécondante des étamines des fleurs.

On sait, en effet, par les observations des naturalistes, qu'il se développe, comme spontanément, dans une multitude de circonstances, des animalcules et des petites plantes de diverses espèces, sans qu'on ait pu jusqu'ici apercevoir leurs germes.

On sait aussi que des plantes à fleurs femelles sont fécondées et portent des fruits, quoique les plantes à fleurs mâles se trouvent à des distances considérables d'elles, et même séparées par de vastes étendues de mers. Toutes ces observations semblent appuyer l'hypothèse du transport des germes et des poussières fécondantes par l'intermède de l'air.

On prend d'ailleurs la nature sur le fait dans beaucoup de circonstances; ainsi, on voit souvent voltiger dans l'air des semences à aigrettes plumeuses, comme celles de lai-

tue, de pissenlit, etc., dont les enfans s'amusent quelquefois. On voit un grand nombre de graines garnies de membranes minces, ou ailées, comme par exemple celles de sapin, celles d'orme, etc., qui semblent faites exprès pour donner prise aux vents qui doivent les transporter dans toutes les directions, et servir ainsi à la propagation des espèces.

Relativement aux poussières fécondantes, on peut remarquer, par exemple, dans les forêts de pins et de sapins, qu'à l'époque de la floraison, la terre est couverte, pendant plusieurs jours, d'une poussière extrêmement fine, très-légère, que les vents soulèvent dans l'atmosphère en quantité prodigieuse, et transportent au loin dans les campagnes, où le peuple l'a prise souvent pour une pluie de soufre.

On voit aussi, à l'époque de la floraison des bleds, la poussière fécondante former un brouillard épais au-dessus des champs.

Les observations les plus précises prouvent que ces poussières jaunes sont les véritables agens de la fécondation des fleurs femelles.

La hauteur de la colonne de mercure se mesure toujours à partir du niveau du liquide dans la cuvette, ou dans la petite branche *fig.* 157 et 158 ; mais il faut remarquer que ce niveau s'élève ou s'abaisse à mesure que la colonne se raccourcit ou s'allonge. Ce changement de niveau est plus ou moins sensible suivant le diamètre de la cuvette.

Il y a deux manières de mesurer exactement la hauteur de la colonne de mercure qui fait équilibre à la pression de l'atmosphère :

1.° Au moyen d'une échelle mobile dont on amène toujours le zéro au niveau du liquide dans le réservoir.

2.° Au moyen d'une échelle fixe : mais alors il faut trouver le moyen de maintenir toujours le niveau du liquide dans la cuvette au niveau de l'échelle. Dans les instrumens qui ne doivent pas être transportés, et qui ne doivent marquer que les variations toujours peu considérables de la pression de l'atmosphère au lieu où ils sont placés, on adapte une cuvette très-large, comme *fig.* 159, dans laquelle les variations de niveau sont toujours insensibles. Mais, dans les instrumens qui doivent être transportés, la grande cuvette ne serait point admissible, et d'ailleurs il faut éviter les moindres erreurs. On parvient, dans ces instrumens, à rendre le niveau constant, en disposant la cuvette de manière à ce qu'on puisse augmenter ou diminuer à volonté sa capacité. Pour cela, on la termine à la partie inférieure par une peau de mouton qu'on peut faire rentrer plus ou moins dans l'intérieur, au moyen d'une vis de pression, comme *fig.* 160.

La partie supérieure de la cuvette est aussi fermée par une peau qui est toujours assez poreuse pour laisser passer l'air, mais qui ne laisse pas passer facilement le mercure. Il résulte de cette construction, qu'au moyen de la vis, on peut toujours faire monter le mercure jusqu'au sommet A du tube, et que dès lors l'instrument se trouve

fermé et par conséquent très-portatif : il ne s'agit plus que de le fixer invariablement dans l'étui qui le renferme.

Le baromètre destiné à la mesure des hauteurs doit être accompagné de tout ce qui est nécessaire pour le suspendre verticalement. Il doit y avoir un thermomètre en contact immédiat avec lui, et un thermomètre libre. Enfin, l'échelle qui sert à mesurer la colonne de mercure, doit marquer au moins des 10.mes de millimètres, au moyen d'un nonius (*).

(B) *Principes pour la mesure des hauteurs par le baromètre.*

(430) *Si l'atmosphère avait partout la même densité*, c'est-à-dire, s'il était, comme l'eau, un fluide incompressible, rien ne serait plus facile que de mesurer les hauteurs par le baromètre. En effet, sachant que le mercure est environ 10000 fois plus pesant que l'air atmosphérique au degré de densité qu'il possède à la surface de la terre (**), si le baromètre marquait, dans la plaine, $0^m,76$, on en conclurait que la hauteur de la colonne d'air de même base qui s'étendrait jusqu'aux limites de l'atmosphère, serait 10000 fois plus haute ; c'est-à-dire, qu'elle aurait 7600 mètres. Si, après avoir transporté le baromètre au

---

(*) On trouve d'excellens baromètres portatifs, pour la mesure des hauteurs, chez Fortin, rue des Amandiers n.° 14, Ste-Geneviève.

Ces baromètres sont les seuls qui soient propres à des opérations exactes. Comme ils sont assez chers, on a cherché d'autres genres de constructions ; mais je ne sache pas qu'on soit parvenu à d'heureux résultats.

(**) Le rapport entre la pesanteur spécifique de l'air et celle du mercure à la température 0^d, et sous la pression de $0^m,76$, a été trouvé de 1 à 10463, par MM. Biot et Arago.

haut d'une montagne, la colonne de mercure n'était plus que de $0^m,56$, on en conclurait que la hauteur de l'atmosphère au-dessus de ce point serait 5600 mètres, et par conséquent la hauteur de la montagne, au-dessus du niveau de la première observation, serait 2000 mètres, différence entre les deux nombres.

Or, nous avons vu que l'air étant un fluide compressible, la densité de l'atmosphère ne peut être à toutes les hauteurs la même qu'à la surface de la terre ; elle va graduellement en diminuant jusqu'à ce qu'enfin elle devienne tout-à-fait insensible. Il en résulte que la hauteur de la colonne d'air qui fait équilibre à la colonne de mercure, ne peut plus être calculée d'après le rapport de 1 à 10463, qui n'est vrai que pour l'air au degré de densité où nous le voyons habituellement. Il est important, d'après cela, de connaître la loi des variations de densités qui peuvent avoir lieu dans l'atmosphère ; c'est à quoi conduit l'expérience de Mariotte.

(431) ***Appareil et expérience de Mariotte pour déterminer la loi de la compression de l'air.*** — La figure 161 représente un tube de verre courbé à branches inégales, appliqué sur une planche, et dans lequel se trouve une petite quantité de mercure pour établir le niveau BD; *ab* est une échelle divisée en millimètres à partir de ce niveau.

Quand le niveau est établi, l'air enfermé dans CD fait équilibre à la pression de l'atmosphère, c'est-à-dire, à 763 millimètres de mercure.

Si on verse du mercure dans la branche BA jusqu'à ce que son niveau soit arrivé à 763 millimètres, l'air renfermé dans la petite colonne supportera une pression égale à 2 fois le poids de 763 millimètres de mercure. Dans ce cas, on remarquera que son volume est diminué de moitié.

Si on ajoute encore, par-dessus cette première colonne, deux colonnes de mercure de 763 millimètres chacune ; c'est-à-dire, si on verse du mercure dans la branche AB jusqu'à la hauteur de $2^m,289$, l'air enfermé dans la petite

colonne supportera une pression égale à 4 fois le poids de 763 millimètres de mercure. Dans ce cas, on remarquera que son volume est diminué des $\frac{3}{4}$.

On voit donc, d'après ces expériences, que la pression étant 1, 2, 4, etc., les volumes correspondans de l'air renfermé dans la petite colonne, sont 1, $\frac{1}{2}$, $\frac{1}{4}$, etc.; d'où il faut conclure *que l'air se comprime dans le rapport des poids dont il est chargé.*

(432) *Lois des variations de densité de l'atmosphère.*— Supposons maintenant que l'atmosphère soit partagée en couches horizontales d'égales épaisseurs, assez minces pour que la densité puisse être regardée comme constante dans toute l'étendue verticale de chacune d'elles, et variable seulement de l'une à l'autre. En partant de la loi de Mariotte, le calcul montre alors que les densités des couches successives, depuis la surface de la terre, décroissent en progressions géométriques.

En effet, soit P le poids de l'atmosphère à la surface de la terre; soit P' son poids à la surface supérieure de la première couche, P'' son poids à la surface supérieure de la seconde couche, etc., on aura pour les poids des différentes couches,

$$P - P', \ P' - P'', \ P'' - P''', \text{ etc.}$$

Soient d, d', d'', etc., les densités de ces différentes couches; on aura, pour les deux premières, $d : d' :: P - P' : P' - P''$, parce que, à volume égal, les densités sont comme les poids. Or, d'après la loi de Mariotte, l'air se comprime dans le rapport des poids dont il est chargé; on a donc aussi $d : d' :: P' : P''$; et par conséquent $P - P' : P' - P'' :: P' : P''$, et de cette proportion, on tire $P : P' :: P' : P''$.

En comparant la seconde couche à la troisième, on parviendra à la proportion $P' : P'' :: P'' : P'''$; la comparaison de la troisième à la quatrième donnera,

$$P'' : P'' :: P''' : P'''', \text{ etc.};$$

et de toutes ces proportions, on tire, $\frac{P}{P'} = \frac{P'}{P''} = \frac{P''}{P'''} = \frac{P'''}{P''''}$, etc.,

c'est-à-dire, que les poids comprimans forment une progression géométrique ; mais, comme les densités leur sont proportionnelles, il en résulte qu'elles suivent la même loi.

(433) ***Méthode que fournissent ces lois pour la mesure des hauteurs.*** — Si les densités des différentes couches de l'atmosphère forment une progression géométrique, les hauteurs de l'atmosphère au-dessus de chacune d'elles forment une progression arithmétique ; or, on sait que les logarithmes sont des nombres en progression arithmétique, qui correspondent à des nombres en progression géométrique. Donc, la hauteur de l'atmosphère au-dessus d'une couche quelconque peut être regardée comme le logarithme de sa densité. D'un autre côté, la densité d'une couche qui dépend de la pression qu'elle supporte, est indiquée par la hauteur du mercure dans le tube du baromètre ; donc la hauteur de l'atmosphère au-dessus du lieu d'observation peut être regardée comme le logartihme de la hauteur de la colonne barométrique.

Cela posé, après avoir calculé une table d'après ce système de logarithme, on parviendrait facilement à avoir la hauteur d'une montagne, au moyen de deux stations, l'une dans la plaine où l'on mesurerait exactement la hauteur de la colonne barométrique, l'autre sur la montagne où on la mesurerait également. On chercherait ensuite dans la table, les deux logarithmes correspondans aux nombres de millimètres trouvés, et leur différence ($\log.H - \log.h$) exprimerait en mètres la hauteur de cette montagne.

Pour s'épargner la peine de construire de nouvelles tables de logarithmes, il suffirait de trouver un nombre constant tel, que son produit par les logarithmes des tables donnât des mesures conformes à celles qu'on pourrait trouver par des opérations trigonométriques. M. Deluc, savant d'un très-grand mérite, et auquel les sciences physiques, en général, doivent beaucoup d'observations, en comparant soigneusement un grand nombre de mesures trigonométriques avec les mesures des mêmes lieux indiquées

par le baromètre, trouva que, pour les rendre sensiblement égales, il suffisait de multiplier les logarithmes des tables par le nombre 10000; résultat d'une heureuse simplicité, en ce que la multiplication s'effectue en reculant seulement de 4 chiffres la virgule qui suit la caractéristique du logarithme.

D'après cela, soit x la hauteur cherchée, soit H la hauteur de la colonne de mercure à la station la plus basse, soit h la hauteur de cette colonne à la station la plus haute; on aura $x = 10000 (\log. H - \log. h)$.

(434) *Corrections à introduire dans la formule.* — L'application que nous venons de faire de la loi de Mariotte, suppose que la température est la même à toutes les hauteurs; mais l'observation prouve que la température diminue à mesure qu'on s'élève dans l'atmosphère; par conséquent la formule que nous venons de donner n'est pas exacte: en effet, l'abaissement de température diminue l'élasticité des couches successives, et par suite la hauteur de la colonne de mercure; de plus, le mercure lui-même se contracte par l'abaissement de température, de sorte que par cette nouvelle cause la colonne barométrique est encore un peu diminuée. Il faut donc introduire, dans la formule, diverses corrections pour ramener les hauteurs calculées à ce qu'elles seraient dans le cas d'une température uniforme.

(*Corrections de Deluc.*) M. Deluc qui découvrit ces deux sources d'anomalie, chercha à les corriger: les corrections qu'il apporta partaient toutes d'une certaine température qu'il nommait *température normale*, à laquelle il avait trouvé, par des opérations pratiques, qu'il n'était nécessaire de faire aucune correction; mais quels que soient les travaux auxquels il s'est livré, et dont nous devons lui savoir beaucoup de gré, parce qu'ils nous ont mis sur la route de mieux faire, sa formule donne des résultats trop faibles, même avec les modifications apportées depuis par Trembley.

(435) *Corrections de Laplace.*— M. Laplace, en reprenant le problème dans la Mécanique céleste, tom. 4 fit partir toutes les corrections du terme de la glace fondante; et cherchant à corriger toutes les causes d'erreur, il a porté la formule barométrique au plus haut degré de précision

(*Coefficient constant.*) Dans cette formule, le coefficient constant, par lequel il faut multiplier la différence des logarithmes tabulaires, dépend du rapport des pesanteurs spécifiques de l'air sec et du mercure; mais, à l'époque où la formule parut, les expériences qui établissaient ce rapport n'étant pas suffisamment exactes, le coefficient fut déterminé par M. Ramond, d'après des observations barométriques comparées soigneusement avec des nivellemens très-exacts. Ce savant observateur crut devoir le porter à 18336. Depuis, MM. Biot et Arago ayant eu occasion d'établir rigoureusement le rapport de pesanteur spécifique entre l'air sec et le mercure à la température o^d et sous la pression de $o^m,76$, en ont ensuite conclu *à priori* le coefficient de la formule, et l'ont trouvé de 18334; concordance admirable qui prouve d'une manière positive l'exactitude de cette formule.

M. Laplace a corrigé les variations de température, d'après les expériences de Gay-Lussac; ces expériences prouvent que pour chaque degré de thermomètre l'air se dilate de 0,00375; de sorte que si la densité de ce fluide à zéro du thermomètre est représentée par 1, sa densité à la température t sera ($1 + 0,00375.t$). M. Laplace a modifié ce résultat de manière à tenir compte de l'humidité; cette correction augmente le coefficient de t, de manière à ce qu'il devient 0,004.

Mais la correction doit être faite sur chacune des couches de l'atmosphère; et pour la faire avec exactitude, il faudrait connaître la loi du décroissement de température à mesure qu'on s'élève au-dessus de la terre. Cette loi est sujette à beaucoup d'irrégularités; cependant comme elle

influe peu sur les résultats, on la regarde comme une progression arithmétique très-lente ; dès lors, on considère l'opération comme étant faite à une température qui serait la moyenne entre les températures qu'on observe aux deux stations. Soit donc T la température à la station inférieure, et soit t la température à la station supérieure (*) ; la moyenne arithmétique sera $\frac{T+t}{2}$: de sorte que la correction de température introduit dans la formule le facteur $(1+0,004.\frac{T+t}{2})$, ou en réduisant $(1+2.\frac{T+t}{1000})$

La diminution de la colonne barométrique causée par la contraction du mercure, est corrigée d'après d'autres experiences de Gay-Lussac. Ces expériences prouvent que le mercure se dilate uniformément, depuis la température 0^d jusqu'à celle de 100^d, et par les expériences de Laplace et du malheureux Lavoisier qui prouvent que cette dilatation est égale à $\frac{1}{5412}$ pour chaque degré du thermomètre.

Soit donc (T) la température du mercure à la station inférieure, qui est ordinairement la plus chaude, et (t) sa température à la station supérieure (h) ; soit de plus h la hauteur de la colonne de mercure que l'observation donne à cette dernière station : cette hauteur devra être augmentée d'autant de fois $\frac{1}{5412}$, qu'il y a de degrés de différence entre (T) et (t) : la hauteur du mercure à la station supérieure, ramenée à ce qu'elle serait dans le cas d'une température uniforme, sera donc,

$$h+h\frac{(T)-(t)}{5412} \text{ ou } h\left(1+\frac{(T)-(t)}{5412}\right)$$

La formule est aussi corrigée des variations de la pesanteur à différens degrés de latitude. Cette correction introduit le facteur $(1+0,002837.\cos.2\psi)$; ψ étant la latitude du lieu d'observation. Enfin, elle est corrigée du décroissement de pesanteur en ligne verticale qui introduit encore les facteurs $(1+\frac{2r}{a})$, $2\log.(1+\frac{X}{a})$, $(1+\frac{X}{a})$.

(*) Ces températures de l'air se déterminent au moyen des thermomètres libres.

r représente l'élévation de la station inférieure au-dessus du niveau de la mer ; a représente le rayon du globe terrestre $= 6366198$. X est la différence de niveau qu'on cherche.

En définitif, la formule exacte de la mesure des hauteurs par le baromètre est

$$X = 18334(1+0{,}002837.\cos.2\psi)\left[\left(1+\frac{2r}{a}\right)\left(1+2.\frac{T+t}{1000}\right)\left(1+\frac{X}{a}\right)\left\{\log.H-\log.h\left(1+\frac{(T)-(t)}{5412}\right)+2\log.(1+)\frac{X}{a}\right\}\right]$$

Cette formule est rigoureuse ; cependant, comme elle renferme X dans les deux membres, elle semble n'être pas complètement résolue ; mais, si on fait attention que X dans le second membre est divisé par a, rayon du globe terrestre qui vaut 6366198 mètres ; on verra que, dans une première approximation, on peut faire $\frac{X}{a}=0$; on déterminera ainsi une valeur de X déjà approchée, qu'on substituera ensuite dans le second membre de l'équation. De cette manière, on aura une valeur de X, qui ne différera de la véritable que d'une quantité inappréciable.

(436) *Réduction de la formule en tables.* — La formule rigoureuse que nous venons de citer peut être réduite à

$$X = 18393(1+0{,}002837.\cos.2\psi\left(1+2.\frac{T+t}{1000}\right)\left\{\log.H-\log.h\left(1+\frac{T'+t'}{5412}\right)\right\}$$

en enveloppant la correction relative au décroissement de la pesanteur en ligne verticale, dans le coefficient constant. Cette formule réduite a encore toute l'exactitude qu'on peut espérer d'atteindre par le moyen des observations barométriques : c'est elle que M. Biot a réduite en tables très-commodes qui donnent la différence de niveau par une simple soustraction de deux nombres. (*)

(*) Nous ne donnons pas ici la démonstration de ces formules, parce qu'elle est assez longue quand on n'emploie que les simples élémens d'algèbre. Nous renvoyons aux tables barométriques portatives de M. Biot ; à Paris, chez Klosterman. Prix : 1 fr. 50 cent.

(437) *Pour faire usage de la formule*, deux observateurs se transporteront, l'un à la station supérieure, l'autre à la station inférieure; ils observeront la hauteur de la colonne de mercure, la température du mercure au moyen du thermomètre en contact, et la température de l'air environnant par les thermomètres libres.

Les instrumens des observateurs devront être comparés avec soin, avant et après les observations, pour savoir s'ils sont parfaitement d'accord.

On fera les opérations, autant que possible, par un temps calme et serein, et à l'heure où l'atmosphère est le plus tranquille (*).

On pourra, le plus souvent, négliger la correction relative à la latitude, parce que le facteur qui en dépend est toujours extrêmement petit; néanmoins, lorsqu'il y aura plusieurs degrés, il faudra en tenir compte.

Nous renvoyons, pour les exemples, aux tables baromé-

(*) On recommande de choisir un temps calme pour faire l'opération, parce que, quand l'atmosphère est agitée, la hauteur de la colonne barométrique est plus petite qu'elle ne le serait naturellement d'après l'élévation du lieu d'observation. On a conclu de cette variation de la colonne barométrique, pendant les agitations de l'atmosphère, que la pression de l'air en mouvement à la surface de la terre était plus faible que celle de l'air en repos. Cette conclusion est contraire aux principes de mécanique, et il faut nécessairement chercher une autre cause de l'abaissement du mercure: or, voici comment, à ce qu'il nous semble, on peut le concevoir: lorsqu'une couche d'air est animée d'un mouvement de translation un peu rapide, elle doit entraîner avec elle quelques portions des couches avec lesquelles elle est en contact; d'après cela, en passant au-dessus de la cuvette du baromètre, elle entraîne quelques portions de l'air qui s'y trouve enfermé et en repos; il en résulte un vide dans cette cuvette, et la colonne de mercure ne peut plus être soutenue à la même hauteur.

triques ; nous déterminerons seulement ici la hauteur à laquelle il faudrait s'élever pour trouver la densité de l'air aussi faible que dans nos machines pneumatiques, c'est-à-dire, pour qu'il n'y ait que $0^m,001$ de pression.

Pour cela, on fera $H = 0^m,76$, $h = 0^m,001$; et comme il ne s'agit que d'une approximation, on négligera la correction de température, c'est-à-dire, qu'on fera $T + t = 0$; on aura alors

$X = 18393$ (log. $0^m,760$ — log. $0^m,001$). $= 52986$ mèt.

Cette valeur est trop forte, car il n'y a pas de doute qu'à cette hauteur $T + t$ ne devienne négatif, à cause du froid excessif qui y règne.

TROISIÈME SECTION.

MOUVEMENT DES FLUIDES AÉRIFORMES.

CHAPITRE X.

Diverses causes du mouvement des fluides aériformes.

(438) Pour qu'une masse de fluide aériforme soit en équilibre, il faut que les densités des différentes couches horizontales dont on peut la concevoir composée, pour raisonner plus facilement, décroissent, à partir de la plus basse, en progression géométrique, comme nous l'avons vu n.o 432. Si, par une cause quelconque, la densité d'une des couches vient à s'écarter de cette loi, soit en plus, soit en moins, l'équilibre est rompu, et ne peut se rétablir qu'après divers mouvemens.

(439) *Mouvemens provoqués par la variation de température.*—Parmi les causes qui peuvent faire varier la densité des couches d'air, la plus importante, et la seule qui puisse produire de grands effets, est le changement de température, comme nous le verrons dans le livre suivant. L'augmentation de chaleur augmente l'élasticité des fluides aériformes, de sorte que si une portion quelconque de la masse du fluide est plus échauffée que les autres, elle se dilate, devient plus légère, et se porte dans les régions plus élevées : elle est alors remplacée par les parties plus froides, qui affluent de toutes parts. Si l'action de la cha-

leur est continue dans le même point, il s'établit un courant continu effluant au-dessus de la partie échauffée, et affluant au-dessous.

Si la chaleur, au contraire, vient à diminuer, la portion sur laquelle l'effet a lieu se contracte, devient spécifiquement plus pesante, et se porte dans les parties plus basses; alors les parties adjacentes se précipitent dans le vide qu'elle laisse après elles.

Les courans d'air qui s'établissent dans nos fourneaux, la plupart des vents qui se font sentir à la surface de la terre, et une multitude d'autres effets, sont produits originairement par l'augmentation ou la diminution de la chaleur dans quelque portion de notre atmosphère. Les mouvemens qui en résultent peuvent ensuite se combiner avec des mouvemens produits par d'autres causes, pour former des courans constans ou momentanés. C'est ainsi, par exemple, que sont produits les *vents alisés*, qui soufflent régulièrement sous l'équateur jusqu'au 30.e parallèle. Leur direction est contraire au mouvement de la terre; c'est-à-dire, qu'ils soufflent d'orient en occident, ou si on veut de l'est à l'ouest; de là aussi le nom de *vent d'est* qu'on leur a donné.

Pour se former une idée de la cause de ce vent constant, il faut remarquer que la chaleur dilate habituellement la masse d'air située à l'équateur; tandis que le froid condense celle qui se trouve aux pôles. Il résulte de là que du nord et du sud il afflue à l'équateur et à la surface de la terre un courant d'air frais, pour remplacer l'air qui s'est élevé à l'équateur en vertu de sa dilatation, et qui forme dans les parties supérieures un courant dirigé au contraire de l'équateur aux pôles

Cela posé, remarquons que l'atmosphère est entraîné avec la terre dans son mouvement de rotation, et que la vitesse de rotation que les molécules d'air acquièrent, est d'autant plus petite que ces molécules sont situées plus près des pôles, parce qu'elles se trouvent à l'extrémité d'un

plus petit rayon. Or, lorsqu'une molécule est transportée d'un parallèle polaire à l'équateur, elle n'a pas le temps de prendre la vitesse du nouveau parallèle où elle afflue, et elle se trouve nécessairement en retard ; de sorte qu'elle oppose aux autres corps qui possèdent déjà toute la vitesse des parallèles, une résistance qui paraît venir d'orient ; c'est ce qui fait que, sous l'équateur, l'atmosphère paraît avoir, en général, un mouvement de l'est à l'ouest.

En vertu de la force qui détermine dans l'atmosphère un courant d'est, et de celle qui détermine un courant du nord à l'équateur, il résulte, pour l'hémisphère boréal, un courant de nord-est. De même, le courant du sud, combiné avec le courant d'est, détermine pour l'hémisphère austral un courant constant de sud-est.

Nous reviendrons plus amplement sur les vents dans notre cinquième volume.

(440) *Ecoulement des gaz dans le vide, ou dans un gaz moins condensé.* — Si un vase rempli d'un fluide aériforme d'une certaine densité, communique par un petit orifice avec un espace vide infini, il est évident qu'il se videra. On démontre, par le calcul, que la vitesse de l'écoulement est constante pendant toute la durée du mouvement. (Voy. la mécanique philosophique de M. Prony, pag. 430 et suivantes).

Si le vase se vide dans un espace rempli du même fluide moins condensé, la vitesse de l'écoulement ne sera plus uniforme ; elle ira successivement en diminuant, jusqu'à ce qu'enfin le fluide du vase étant parvenu au degré de densité du fluide extérieur, l'équilibre soit établi.

(441) *Mouvemens produits par des actions mécaniques.* — Lorsqu'une machine capable de toucher à-la-fois un volume d'air assez grand, se trouve en mouvement au milieu d'une masse de ce fluide en repos, elle le détermine nécessairement à se mouvoir. C'est ainsi, par exemple, qu'en agitant un mouchoir au milieu d'une chambre, nous produisons dans l'air qu'elle renferme un mouvement qui

se fait sentir comme un vent léger. Lorsque quelqu'un se promène rapidement dans une chambre, il détermine un déplacement d'air qui produit l'impression d'un vent frais pour les autres personnes qui se trouvent aussi dans l'appartement. Cette circonstance est surtout remarquable dans l'hiver. Il n'est personne qui, dans cette saison, ne se soit plaint d'une autre, et ne lui ai dit : *Tu me fais du vent.*

En général, tous les corps qui se meuvent au milieu de notre atmosphère, déterminent dans cette masse d'air un certain mouvement. Ainsi, une rivière qui s'écoule avec une certaine vitesse, entraîne dans son mouvement la couche d'air qui est en contact avec elle. Tout le monde pourra remarquer au-dessus des courans d'eau un certain vent qui suit la direction du courant.

C'est d'après ces observations que sont construits diverses espèces de *ventilateurs* dont on se sert, tantôt pour procurer à une masse d'air enfermée dans un endroit clos un certain mouvement qui produit de la fraîcheur, tantôt pour renouveler réellement l'air dans ces lieux. Les ventilateurs sont surtout utiles dans les hôpitaux, dans les prisons, dans les galeries de mines, etc. *L'éventail* est un ventilateur trop connu pour que nous nous arrêtions à en parler. Certains ventilateurs sont composés d'une roue à volans qui tourne sur un axe horizontal ou vertical. Dans différens cas, on a employé des courans d'eau qui entraînent avec eux une certaine quantité d'air, et la portent jusque dans l'endroit où le besoin d'un air nouveau se fait sentir ; tel est l'effet des *trompes* dont on se sert dans les mines ; ailleurs, le ventilateur est un véritable soufflet ; et enfin, dans quelques cas, on détermine un courant d'air en dilatant le fluide par la chaleur à un point, tandis que l'air frais peut entrer par un autre. C'est ce qu'on pratique quelquefois dans les mines. (Voyez liv. 5, chap. 4).

CHAPITRE XI.

Du choc et de la résistance des fluides aériformes.

(442) Tout ce que nous avons dit du choc et de la résistance des liquides, peut s'appliquer aux fluides aériformes, à quelques différences près, qui tiennent à la compressibilité et à l'élasticité dont ces fluides sont doués. Théoriquement parlant, on peut dire que l'effet du choc de l'air est proportionnel à la densité de ce fluide, au carré de sa vitesse, et à la surface du corps choqué. La résistance que l'air oppose au mouvement des corps qui le traversent, est proportionnelle à sa densité, à la surface du corps en mouvement, et au carré de sa vitesse.

(443) *Choc de l'air en mouvement.* — Quoique l'air soit un fluide très-rare, nous ressentons souvent, d'une manière très-énergique, les effets de sa percussion lorsqu'il possède un mouvement un peu rapide. Tout le monde a entendu parler des effets désastreux que produit le vent dans quelques circonstances; nous en avons quelquefois en France des exemples frappans. Nous voyons les plus gros arbres brisés, déracinés, les murailles renversées, les maisons endommagées, et cependant nous n'y connaissons pas ces vents impétueux qui se font sentir, dit-on, dans quelques îles de la mer du sud, qui brisent et renversent tout ce qui se trouve sur leur direction.

C'est l'impulsion des vents qui produit, à la surface des mers, cette agitation violente qui jette souvent l'effroi parmi les navigateurs les plus intrépides, et dont tant de familles ont été victimes.

Heureusement, les vents ne sont pas toujours animés de

cette vitesse qui leur fait produire tant de ravages; c'est alors que nous ressentons leur influence sur la salubrité des contrées où ils règnent périodiquement, et que nous employons leur force impulsive à divers usages. Tout le monde sait que c'est la force impulsive des vents qui nous conduit à travers la vaste étendue des mers. Nous desirerions pouvoir donner ici quelques idées générales sur ce qui concerne la voilure des vaisseaux, la forme qu'on doit donner aux diverses voiles, la direction qu'il faut leur faire prendre relativement à la direction du vent, et la position du point où on se dirige; mais les bornes de cet ouvrage ne nous permettent pas d'entrer dans ces détails : on les trouvera dans les divers ouvrages d'architecture navale et de navigation.

On a employé, comme on sait, la force du vent, pour communiquer le mouvement à diverses machines. Tout le monde connaît les moulins à vent qui sont employés, dans beaucoup d'endroits, pour moudre les grains, et qu'on adapte à beaucoup d'autres usages, comme pour mouvoir des pompes, des pilons, etc. La théorie de la construction des moulins à vent est très-compliquée. On démontre par les considérations mathématiques, et la pratique a trouvé depuis long-temps, par tâtonnement, que, pour parvenir au maximum d'effet, le plan des ailes doit être incliné sous un certain angle à la direction du vent. Cet angle, auprès de l'axe de rotation, doit être d'environ 55^{d}. Il doit augmenter depuis ce point jusqu'à l'extrémité de l'aile, où il peut être d'environ 80^{d}. Aussi remarque-t-on, dans les moulins bien construits, que les ailes présentent une surface gauche. L'arbre qui sert d'axe de rotation, et qui communique le mouvement au rouage, est aussi incliné à l'horizon sous un certain angle. Dans quelques endroits on a disposé l'arbre verticalement, de manière à ce que l'aile se trouve horizontale; cette disposition paraît avoir quelques avantages sur la première; mais elle est très-peu en usage.

La construction de l'aile est aussi assez variable. C'est tantôt une espèce de claie couverte, en tout ou en partie, d'une toile; tantôt c'est une espèce de jalousie dont les différentes planchettes transversales peuvent être ouvertes plus ou moins, de manière à présenter au vent plus ou moins de surface; ailleurs, l'aile est une véritable voile, etc. Cette dernière construction paraît préférable aux autres, quant à l'effet.

Les moulins à vent sont ordinairement construits de telle manière, qu'ils peuvent tourner sur un pivot et qu'on peut, par ce moyen, présenter l'aile au vent, quelle que soit sa direction. Dans les très-petits moulins qu'on emploie pour élever l'eau, par exemple, aux environs de Marseille, l'appareil est tellement construit, que le vent lui-même le fait tourner sur son axe et l'amène à la position convenable. On a construit aussi des appareils qui tournent toujours dans le même sens, quelle que soit la direction du vent; on les a nommés, à cause de cela, *panemore*.

(444) *Résistance que l'air oppose au corps qui s'y meuvent.* — Dans les corps liquides, la densité étant partout la même, la résistance au mouvement des corps, est constante; mais, dans les fluides aériformes, la densité varie depuis la partie la plus basse où elle est la plus grande, jusqu'à la partie la plus élevée; il en résulte qu'un projectile qui est lancé dans l'air, un corps grave qui tombe, parcourent successivement des couches de diverses densités, et, par conséquent, que la résistance qu'ils éprouvent, en divers points de leur course, est très-variable. Cependant, comme la hauteur à laquelle est lancé un projectile ou dont un corps grave peut tomber, n'est jamais très-considérable, on peut souvent, sans erreur sensible, supposer la densité constante dans toute l'étendue de l'espace parcouru.

Nous avons vu (88) qu'un corps, sollicité par la gravité, doit se mouvoir de haut en bas d'un mouvement uniformé-

ment accéléré; mais, cela ne peut avoir lieu que dans le cas où le corps se meut dans le vide; s'il se meut dans un milieu résistant, l'accélération doit décroître à chaque instant.

Supposons d'abord que la densité du milieu soit partout uniforme; sa résistance fera perdre successivement au mobile une partie de la vitesse que lui communique l'action constante de la gravité : or, la résistance croît comme le carré de la vitesse; il arrivera donc nécessairement un moment après lequel le mobile perdra à chaque instant, précisément autant de vitesse qu'il en acquerra; alors, son mouvement deviendra uniforme.

Si à l'instant où la vitesse devient uniforme, la résistance du milieu venait à croître, et croissait ensuite continuellement, il arriverait que la vitesse diminuerait successivement et finirait par devenir nulle; alors, le corps resterait suspendu. C'est précisément ce qui pourrait arriver dans notre atmosphère, si la colonne d'air que le corps parcourt, était suffisamment haute; parce que la densité de l'air, et par suite sa résistance, s'accroissent continuellement.

S'il n'en arrive pas ainsi, c'est parce que la couche d'air qui nous environne, a très-peu d'épaisseur, et que, dès lors, la densité des couches les plus basses est encore très-faible. Mais il est facile de remarquer que les corps, dont le volume est assez grand par rapport à leur masse, parviennent bientôt, en tombant d'une grande hauteur, à un mouvement uniforme, et même à un mouvement retardé : c'est ce qu'on voit d'une manière frappante dans l'expérience du parachute, dont l'idée est encore due au génie de Montgolfier, et dont les aéronautes nous ont donné quelquefois le spectacle. Lorsqu'un ballon, par suite de la perte d'une partie de son gaz hydrogène, finit par retomber à la surface de la terre, son mouvement est très-lent et sensiblement retardé.

C'est la résistance de l'air qui diminue la vitesse de la

neige, de la pluie, de la grêle, et qui fait que nous sommes frappés par ces corps avec beaucoup moins de force que nous ne le serions, s'ils tombaient dans le vide ou dans un fluide plus rare. On emploie souvent cette résistance pour modérer et régulariser le mouvement des machines ; par exemple, le volant, dont sont garnis les tournebroches, présente à l'air une certaine surface, et éprouve par là une résistance qui retarde et régularise sa marche. Si on trouve qu'un tournebroche va trop vite, il suffit, pour le ralentir, d'augmenter un peu la surface du volant ; c'est, à cet effet, que nos cuisiniers y adaptent une plume. Cette espèce de modérateur est employée dans une multitude de machines, où on lui a donné diverses formes, pour lui faire présenter plus ou moins de surface, selon le besoin.

Dans les machines soignées ou de petite dimension, la résistance de l'air est remplacée par un ressort ; tel est, par exemple, dans nos montres, l'effet du ressort spiral qui est adapté à la verge du balancier.

CHAPITRE XII.

Mouvemens vibratoires des fluides aériformes.

ARTICLE PREMIER.

Vibrations de l'air dans les tubes des instrumens à vent.

(445) *Production du son.* — L'air et tous les fluides aériformes sont susceptibles d'entrer en vibration, et de produire alors des sons plus ou moins aigus. L'air est mis en vibration par un coup de fouet, par une explosion; lorsqu'il passe avec vitesse auprès d'un corps, ou par une fente étroite, il produit du bruit ou des sifflemens. Si l'air, en passant par une fente étroite, force un corps mince de vibrer avec lui le son, qu'on obtient devient plus dur; c'est ce qui arrive, lorsque tenant entre les doigts une carte, le courant d'air qu'on produit en soufflant passe des deux côtés. C'est l'air mis en vibration qui produit les sons dans les instrumens à vent, dans l'organe vocal de l'homme et des animaux.

Il n'y a pas de son, lorsqu'on souffle simplement dans un tube, parce qu'il ne se fait alors qu'un mouvement progressif de l'air. Pour qu'il se produise un son, il faut que l'air soit mis en vibration dans toute l'étendue du tube, et pour cela, il faut qu'il fasse vibrer des corps minces rigides, comme l'anche dans la clarinette et le basson, ou qu'il se brise contre un tranchant en talus, comme dans le sifflet, ou bien que les lèvres, en se serrant plus ou moins, le

mettent en vibration, comme cela se fait dans la trompette et le cor de chasse.

(446) *Lois des sons dans les tubes.* — Le son rendu par un tuyau, ne dépend que de la longueur de la colonne d'air, de son degré d'élasticité, et de la manière de souffler; car tout le monde sait que l'épaisseur de la paroi du tuyau, son diamètre, la manière dont on le tient, n'influent en rien sur le son produit. La différence de timbre, suivant que le tube est en bois, en métal, etc., paraît dépendre du frottement de l'air contre la paroi et d'une faible *résonnance* des parois mêmes.

Le son produit est en raison inverse de la longueur du tube, toutes choses égales d'ailleurs; aussi, en variant la longueur, on peut varier les sons de diverses manières: il y a des instrumens dont on varie la longueur, en allongeant ou raccourcissant le tuyau à volonté. Dans les instrumens où il y a des trous latéraux, on raccourcit ou on allonge la colonne, en ouvrant ou fermant ces trous.

Lorsqu'on souffle dans un tuyau ouvert par un bout et fermé à l'autre, la colonne d'air éprouve des mouvemens alternatifs de condensation et de dilatation; elle fait des vibrations analogues aux vibrations longitudinales d'une verge sonore fixée par un bout et libre par l'autre. Les sons qu'on obtient de différens tuyaux, sont en raison inverse de leur longueur; et, dans un même tuyau, les sons qu'on obtient en augmentant successivement l'impulsion, sont comme les nombres 1, 3, 5, 7, etc. Il paraît naturel d'attribuer ces variations à 0, 1, 2, 3, etc., nœuds de vibration, comme cela a lieu dans une verge vibrante. (276 *b.*)

Dans un tube ouvert par les deux bouts, le son qu'on obtient est à celui que produit un tube de même longueur fermé par un bout, comme 2 est à 1; ce qui indique assez qu'il y a un nœud de vibration au milieu. En augmentant graduellement l'impulsion de l'air, les sons qu'on obtient sont entr'eux comme la série des nombres 2, 4, 6, 8, etc., en les comparant aux sons rendus par un tube fermé à un bout,

ce qu'on peut encore attribuer à la présence de 1, 2, 3, 4, etc. nœuds de vibration. On démontre la présence de ces nœuds, en perçant des trous vers les endroits où ils doivent être ; c'est-à-dire, de telle manière que la distance entre deux trous, soit double de la distance d'un trou à une extrémité libre. On remarque qu'en laissant ces trous ouverts, les sons ne sont point altérés.

Tous ces résultats d'expérience sont prévus par les considérations mathématiques.

Un tuyau dont une extrémité est en partie bouchée, l'autre étant ouverte, doit être placé, quant à son effet, entre les tuyaux bouchés et les tuyaux ouverts ; de sorte qu'en bouchant plus ou moins l'ouverture, on peut obtenir tous les sons entre le plus bas d'un tuyau bouché et le plus haut d'un tuyau ouvert. C'est pour cela que le joueur de cor enfonce plus ou moins le poing dans le pavillon de son instrument, suivant les sons qu'il veut obtenir.

Un tuyau peut être droit ou courbe, sans que cela change en rien la série des sons qu'il peut produire, parce que l'air est également élastique dans tous les sens.

Dans un tuyau divergent, les sons sont un peu plus aigus que ceux d'un tuyau cylindrique de même longueur ; au contraire, dans un tuyau convergent, ils sont plus graves.

Variations des sons suivans les degrés de température. Les instrumens à vent donnent des sons différens, suivant les différens degrés de chaleur qui augmentent ou diminuent l'élasticité de l'air. Un instrument à vent et un instrument à cordes ne peuvent pas rester d'accord, parce que les changemens de température influent sur eux en sens contraire.

(447) *Echelle musicale de la trompette.* — En soufflant dans un tuyau ouvert par les deux bouts, les sons qu'on obtient, en augmentant successivement l'impulsion, se trouvent comme les nombres 2, 4, 6, 8, ainsi que nous l'avons dit ci-dessus, ou comme la série des nombres

naturels 1, 2; 3, 4, etc., lorsqu'on n'a pas égard aux sons des tuyaux fermés par une extrémité. Si on représente le son principal *ut* par $\frac{8}{8}$, les sons, compris jusqu'à l'octave au-dessus, seront $\frac{9}{8}$, $\frac{10}{8}$, $\frac{11}{8}$, $\frac{12}{8}$, $\frac{13}{8}$, $\frac{14}{8}$, $\frac{15}{8}$, $\frac{16}{8}$, qui forment l'échelle ordinaire de la trompette et du cor de chasse; on voit que cette échelle n'est pas la même que l'échelle diatonique, et qu'elle renferme un son deplus.

Avec l'instrument nommé *trompette marine*, qui n'a qu'une seule corde, on produit par des divisions successives de cette corde en parties aliquotes, des sons semblables à ceux des instrumens à vent qui n'ont que deux ouvertures.

Quelques savans ont voulu substituer cette échelle à l'échelle diatonique, comme étant plus naturelle; ils regardent la sensation désagréable que l'oreille éprouve par l'intonation des sons *fa* et *la*, comme un préjugé de cet organe gâté par l'habitude.

ARTICLE II.

Des vibrations communiquées, ou propagation du son par l'air.

(448) *L'air est le véhicule ordinaire du son.* — Un corps vibrant communique ses vibrations à l'air qui l'environne, comme nous avons vu qu'il les communique aux corps solides et aux corps liquides; c'est par l'intermède de l'air que nous parviennent ordinairement les sons; on prouve, par expérience, que s'il se trouvait un espace vide entre le corps sonore et nous, nous n'entendrions rien. On se sert, pour cette expérience, d'un petit timbre sur lequel frappe un marteau mu par un mouvement d'horlogerie; on place cet appareil sur un petit coussin de coton sur la platine de la machine pneumatique, et on le couvre d'une cloche de verre sous laquelle on fait ensuite le vide.

On remarque alors qu'à chaque coup de piston, l'intensité du son devient plus faible, et que, quand l'air est aussi raréfié que possible, on n'entend plus rien, quoiqu'on voie toujours le marteau frapper sur le timbre.

Si, au contraire, on augmente le ressort de l'air sous le récipient, soit par la chaleur, soit par la compression, l'intensité du son devient plus grande. Tout le monde peut observer qu'un coup de pistolet produit plus d'effet dans les parties basses de notre atmosphère qu'au sommet d'une montagne élevée, où l'air est beaucoup moins dense.

(449) *Ondulations sonores.* — En supposant que le corps vibrant soit plongé dans un milieu aériforme indéfini, comme dans notre atmosphère, le son qu'il produit se propage tout autour dans une sphère dont le rayon est plus ou moins considérable. Si on suppose que la masse fluide soit partagée par des cloisons, de manière à ce que l'onde sonore ne puisse pas se propager librement, il se formera partout où il y aura dans ces cloisons solution de continuité, de nouvelles ondes qui se porteront dans l'espace situé derrière, à-peu-près comme nous avons vu les ondes circulaires, formées à la surface de l'eau d'un bassin, produire des ondes secondaires qui se propagent dans les bassins communiquans (388). C'est de cette manière que le son produit dans une cour, dans un jardin, etc., se propage jusque dans nos appartemens ; c'est aussi d'une manière analogue que le bruit produit au pied d'une montagne, se fait entendre sur le revers opposé.

(450) *Diminution de l'intensité du son, suivant la distance, dans une masse d'air infinie.* — Quoique le son puisse se propager dans une masse d'air infinie, à des distances considérables, son intensité diminue à mesure qu'on s'éloigne de l'endroit où il est produit. La théorie mathématique indique, et l'expérience confirme sensiblement, que, toutes choses égales d'ailleurs, l'intensité du son est en raison inverse du carré de la distance de l'observateur au lieu du corps sonore.

La distance à laquelle le son transmis par l'air est encore perceptible, dépend de l'intensité du son, de la direction du vent et des circonstances locales. Tout le monde sait que, quand le vent est favorable, on entend le bruit du canon, le bruit des cloches à de grandes distances; tandis que par un vent contraire, on n'entend rien, quoique fort près de l'endroit où le son ou le bruit sont produits. On cite des exemples où le bruit du canon a été entendu à 30 lieues de l'endroit d'où il partait.

(451) *Dans une masse d'air limitée latéralement.* — Lorsque la masse d'air par laquelle le son se propage, est limitée latéralement, comme dans un tuyau cylindrique, la théorie indique que le son doit se propager indéfiniment avec la même intensité; mais il paraîtrait que le frottement de l'air contre les parois devrait enfin arrêter le mouvement et par conséquent diminuer petit à petit l'intensité du son : toutefois, M. Biot a reconnu, dans les aqueducs de Paris, que la voix la plus basse se soutient à une distance de 951 mètres, de manière à pouvoir faire une conversation suivie. Il paraît aussi que dans un tuyau, l'amplitude des vibrations de chaque molécule se trouve augmentée, et que le son est un peu renforcé à son extrémité; de sorte qu'après en être sorti, il est transmis beaucoup plus loin que si l'on eût parlé simplement à l'air libre.

Le même mode de propagation se fait sentir dans certains édifices où les angles des murailles se continuent sur la voûte; deux personnes placées à deux angles diagonalement opposés, peuvent y faire à voix basse une conversation suivie. L'angle fait ici l'effet d'un petit tuyau.

Le *porte-voix*, *fig.* 162, offre aussi un mode de propagation analogue. Cet instrument consiste en un tube d'environ 1 mètre de longueur, terminé à une extrémité par un large évasement : il est de cuivre ou de fer-blanc. On place les lèvres à l'extrémité *a*, et on a soin de bien articuler les mots. Au moyen de cet appareil, le son est trans-

mis à de très-grandes distances : l'effet dépend de la longueur du tuyau et de l'étendue du pavillon.

On a expliqué long-temps l'effet du porte-voix, par une réflexion du son semblable à celle de la lumière ; (nous verrons cette réflexion de la lumière dans le liv. 6, chap. 4 ;) mais, s'il en était ainsi, le son ne devrait se propager au-delà de l'instrument que dans la direction de son axe, et, au contraire, l'expérience prouve qu'il se propage également dans tous les sens. Il paraît, comme nous l'avons déjà dit, que la colonne d'air étant retenue latéralement, l'amplitude des vibrations est augmentée : le pavillon paraît servir à mettre à-la-fois une plus grande masse d'air en mouvement à l'extrémité du tuyau.

On a souvent dit, dans les ouvrages de Physique, qu'il était nécessaire de construire le porte-voix d'un métal sonore ; il paraît cependant que la nature de la matière de cet instrument n'a aucune influence sur ses effets, puisqu'en le doublant de drap, il produit absolument les mêmes.

Le *cornet acoustique*, dont se servent les personnes qui ont l'ouïe dure, n'est qu'un porte-voix renversé, un tuyau de communication dans lequel l'amplitude des vibrations est augmentée. Il paraît que, quoiqu'on ait fait des cornets acoustiques de forme paraboloïde qu'on a beaucoup vantés, la forme la plus avantageuse est réellement la forme conique qu'on leur a primitivement donnée.

(452) *Communication des vibrations de l'air aux corps en contact.* — Si l'onde sonore rencontre des corps qui soient susceptibles de vibrer à l'unisson, l'intensité du son est augmentée proportionnellement à la surface du nouveau corps mis en vibration : cette circonstance n'est pas rare. Tout le monde a pu observer que, lorsqu'un tambour passe dans la rue, les vitres de l'appartement sont souvent mises en vibration ; on peut d'ailleurs faire l'expérience directement, en disposant deux cordes de même longueur, de même diamètre et également tendues à peu de distance

l'une de l'autre ; en faisant vibrer l'une, on entendra l'autre rendre un son absolument semblable.

Lorsqu'au contraire l'onde sonore rencontre des corps éminemment flexibles, comme les draperies ou autres choses semblables, ou bien des obstacles contre lesquels elle se brise, l'intensité du son est considérablement diminuée. Tout le monde peut remarquer que dans une chambre vide, la voix a plus d'éclat que dans une chambre garnie de meubles, de draperies, de tapisseries, etc. Lorsqu'il y a des cloisons qui nous séparent du corps sonore, l'intensité du son que nous recevons est d'autant plus faible que la cloison est plus épaisse et de matière moins susceptible de vibration : l'air extérieur mis en mouvement vient s'appuyer contre la cloison, lui communique ses vibrations, et le corps solide les communique ensuite à l'air qui se trouve derrière lui. C'est de cette manière que nous entendons dans l'intérieur de nos appartemens le bruit du dehors ; c'est principalement par les vitres qu'il pénètre : aussi l'entendons-nous moins quand les contrevents sont fermés, lorsque les croisées sont garnies de rideaux épais, de draperies, etc. On sait que beaucoup de personnes font garnir leurs croisées de contrevents matelassés, pour éviter le bruit du dehors qui pourrait troubler leur sommeil.

(453) *Plusieurs sons peuvent aussi se propager à-la-fois par l'air, sans se gêner mutuellement* ; c'est ainsi que nous avons vu les ondes circulaires se croiser à la surface de l'eau, sans s'altérer en aucune manière ; mais il arrive que les sons les plus forts absorbent en quelque sorte les plus faibles, de manière à ce qu'il n'est plus possible de les saisir. Tout le monde sait que le bruit des voitures, des tambours, etc., absorbe tellement la voix, qu'il n'est pas possible de s'entendre parler, quelque près qu'on soit l'un de l'autre.

(454) *Vitesse du son dans l'air.* — L'expérience nous apprend que tous les sons, graves ou aigus, se propagent également vite. Pour déterminer la vitesse du son, il faut deux observateurs, placés à une distance connue et assez grande l'un de l'autre, et munis de montres à secondes parfaitement accordées : on convient d'un signal pour commencer l'opération; dès lors, l'un des observateurs marque l'heure à laquelle il produit un son quelconque, et l'autre marque l'heure à laquelle il le perçoit. En se communiquant leurs observations, ils peuvent déterminer le temps que le son a employé pour parcourir l'espace qui les séparait. On a trouvé, par des expériences de cette sorte, qu'à la température moyenne de 6^{d}, la vitesse du son dans l'air était d'environ 337 par seconde : on a remarqué que la pluie ou le brouillard n'y avaient aucune influence, que le vent pouvait l'accélérer ou la retarder suivant sa direction, et qu'enfin elle variait avec la température; en sorte que dans l'été elle était plus grande qu'en hiver.

Les géomètres ont aussi cherché, d'après les lois connues du mouvement, quelle devait être la vitesse du son; ils sont tous parvenus à ce résultat, que cette vitesse est égale à la racine carrée du rapport de l'élasticité de l'air à sa densité. Les formules ne donnent cependant qu'environ 282^{m} par secondes, à la température de 6^{d}; ce qui ne s'accorde pas avec l'expérience. On a fait beaucoup d'hypothèses pour expliquer cette anomalie; mais M. Laplace en a trouvé la véritable cause : ce savant célèbre a conçu l'idée que dans la propagation du son par l'air, ou par les fluides expansibles, les petites compressions produites par les vibrations du corps sonore, causaient un développement de chaleur inappréciable pour le thermomètre, qui augmentait l'élasticité du fluide et par suite la vitesse du son; effectivement, en introduisant cette correction dans le calcul, on parvient à des résultats qui s'accordent avec ceux de l'expérience. Le dégagement de chaleur est d'ailleurs prouvé par la transmission du son par l'intermède des vapeurs.

ARTICLE III.

Des sons réfléchis.

(455) Tant que la masse d'air par laquelle le son se propage est indéfinie, les ondulations sonores s'étendent indéfiniment; mais, lorsqu'il se trouve quelqu'obstacle qui peut arrêter l'onde sonore, elle se réfléchit à sa surface et se porte en arrière, à-peu-près comme cela arrive en pareil cas aux ondulations circulaires produites à la surface des liquides : c'est alors qu'il se forme ce qu'on nomme un *écho* lorsque le son est répété distinctement, et une *résonnance* lorsqu'il n'en résulte qu'un bruit confus.

Il résulte des recherches mathématiques sur la réflexion du son par un plan indéfini, 1.° que chaque rayon de l'onde sonore est réfléchi en faisant l'angle de réflexion égal à l'angle d'incidence;

2.° Que la vitesse du son réfléchi est la même que celle du son direct;

3.° Que l'intensité du son à l'extrémité du rayon brisé est précisément celle qui aurait lieu à l'extrémité d'un rayon droit égal en longueur au rayon brisé, si ce son, au lieu de se réfléchir, se fût propagé au-delà du plan fixe.

D'après cela, il est facile de voir que si la masse d'air est comprise entre deux plans indéfinis, parallèles, le son réfléchi à la surface d'un des plans se portera sur l'autre; d'où il sera réfléchi sur le premier, etc. Il y aura ainsi un nombre infini de réflexions. Si les plans ne sont point parallèles, il y aura un nombre de réflexions plus ou moins grand suivant l'angle que ces plans feront entr'eux.

Il est facile aussi de déterminer les circonstances de la réflexion du son par des surfaces ellipsoïdes, paraboloïdes, etc. (Voyez sur la propagation et la réflexion du son le Mémoire de M. Poisson, Journal de l'Ecole Polytechnique, tom. 7, pag. 319 à 392).

(456) *Dans quel cas il y a un écho ou une résonnance.* — On peut facilement observer qu'il n'est guère

possible de distinguer les sons, à moins qu'il ne s'écoule $\frac{1}{10}$ de seconde de l'un à l'autre ; d'où il suit que, pour qu'il y ait un écho, il faut que le son réfléchi n'arrive au plutôt à l'oreille qu'après $\frac{1}{10}$ de seconde, c'est-à-dire, que la distance d'aller et de retour doit être au moins de $33^m,8$, ce qui place le *centre phonocamptique* à $16^m,9$ du *centre phonique* (1). Toutes les fois qu'il se trouvera plus rapproché, les sons directs et les sons réfléchis se confondront en partie, et il n'y aura qu'une résonnance.

Les résonnances se font entendre dans les lieux fermés, peu spacieux ; elles deviennent souvent incommodes pour les personnes qui écoutent un orateur ; mais elles peuvent être favorables à l'orateur même en soutenant sa voix, et lui donnant plus d'éclat. Nous avons eu quelquefois l'occasion de remarquer que, dans une salle résonnante, on se fatigue moins en parlant, qu'en plein air ou dans une salle où la voix se trouve étouffée, soit par des tapisseries, soit d'une autre manière. Les résonnances sont avantageuses dans les endroits où l'on se propose de faire de la musique.

Les résonnances ne sont pas toujours le résultat de la réflexion du son ; elles sont souvent dues à la vibration des parois contre lesquelles vient s'appuyer l'onde sonore. C'est ce qui a lieu, par exemple, lorsqu'on parle dans un chapeau ; si on applique les mains sur la forme, on sentira les vibrations d'une manière très-énergique.

M. Hassenfratz croit pouvoir expliquer différens échos par des vibrations du centre phonocamptique. Il cite à ce sujet les échos qu'on remarque dans les galeries de mines ; peut-être comprendrait-il dans ce cas l'écho observé par M. Biot, n.° 458.

(*) On nomme centre phonique le lieu où le son est produit, et centre phonocamptique celui d'où il est répété. Ces mots sont dérivés du grec *φωνὴ son* et de *κάμπτω réfléchir*.

(457) *Echos monosyllabiques et polysyllabiques.* — Tout le monde peut observer qu'il n'est guère possible de prononcer plus de dix syllabes par seconde; c'est-à-dire, que d'une syllabe à l'autre il s'écoule $\frac{1}{10}$ de seconde. D'après cette remarque, on reconnaîtra facilement comment l'écho peut être monosyllabique ou polysyllabique. Si l'observateur se trouve à 16m du centre phonocamptique, il n'entendra que la dernière syllabe du mot qu'il aura prononcé, parce que chaque syllabe réfléchie se confondra avec la syllabe suivante prononcée. Si le centre phonocamptique se trouve à deux fois 16m,9, les deux dernières syllabes seront répétées distinctement : en général, il y aura autant de syllabes répétées, que la distance entre le centre phonique et le centre phonocamptique contiendra de fois 16m,9.

(458) *Exemples d'échos remarquables.* — On trouve des échos à chaque pas : c'est surtout dans les bois, les pays de montagnes, etc., qu'ils sont les plus fréquens. On cite, dans diverses parties de l'Europe, des échos extrêmement remarquables; mais dans ceux qui ont été visités par des hommes moins enthousiastes, on a trouvé qu'il y avait beaucoup d'exagération dans leur description. Toutefois, on trouve des échos qui répètent un certain nombre de syllabes; on en cite un, dans le parc de Woodstock, en Angleterre, qui répète dix-sept syllabes dans le jour, et vingt pendant la nuit. (Cette différence peut tenir à ce que, pendant la nuit, l'air étant plus froid, a moins d'élasticité, et que dès lors la vitesse du son est moins grande).

Il y a des échos qui répètent le même son plusieurs fois; tel est celui qu'on a cité au château Simonetta, en Italie, qui répète le son jusqu'à quarante fois (ce qui est sans doute exagéré, sans être impossible). Il était produit par deux murs parallèles, dans l'un desquels était une fenêtre d'où celui qui parlait entendait l'écho.

On cite à Verdun un écho analogue produit par deux tours éloignées l'une de l'autre d'environ cinquante mètres,

En se plaçant entre ces deux tours, et prononçant un mot d'une voix forte, on entendait le son répété une douzaine de fois.

On cite à Génétay, près de Rouen, un écho où la voix est répétée plusieurs fois de différentes manières. Enfin, on trouve des échos qui répètent le son avec fracas, d'autres qui le répètent avec un ris moqueur, d'autres qui lui donnent l'accent plaintif, etc. Tout cela est dû à des circonstances locales qu'il est fort difficile d'assigner.

Il y a aussi des échos dont il n'est pas facile de se rendre raison. Tel est, par exemple, celui que M. Biot a observé dans les aqueducs de Paris, où, en parlant à l'extrémité d'un tuyau de 951 mètres, la voix s'est trouvée répétée jusqu'à 6 fois. Les intervalles de ces échos étaient égaux entr'eux, et à-peu-près d'une demi-seconde : le dernier revenait à l'oreille après 3 secondes ; c'est-à-dire, après le temps nécessaire pour parcourir la longueur de 951 mètres.

On observe des échos semblables dans les longues galeries de mines. On pourrait soupçonner, dans l'expérience de M. Biot, que les tuyaux n'étaient pas exactement en ligne droite, ou que peut-être ils n'avaient pas partout la même largeur. De même, dans les galeries de mines, on peut soupçonner que les parois ne sont pas parallèles.

(459) *Construction des salles.* — C'est d'après les lois de la propagation et de la réflexion du son, qu'il faut se guider lorsqu'il s'agit de construire des salles où les sons puissent être également entendus dans tous les points. Il faudra d'avance savoir si la salle est destinée à faire entendre la voix d'un orateur, ou si elle est destinée à faire de la musique. Dans le premier cas, il faudra souvent éviter les résonnances ; dans l'autre, au contraire, il faudra les provoquer en rendant les parois plus ou moins sonores ; et pour cela, il est utile de les boiser.

De toutes les formes possibles qu'on peut donner à une

salle, la forme elliptique est la plus mauvaise, parce que l'ellipse a la propriété de réfléchir au second foyer tout ce qui est lancé du premier, et qu'il en arrive de même pour la réflexion du son; en sorte que dans une telle salle l'orateur, placé à un foyer, serait entendu avec force par la personne placée à l'autre, mais peu distinctement par les personnes placées partout ailleurs. Deux personnes qui seraient ainsi aux deux foyers d'une ellipse, pourraient faire à voix basse une conversation suivie, sans être entendues des personnes environnantes.

La forme parabolique paraît être la plus convenable qu'on puisse donner à une salle. M. Chladni propose de donner à une salle destinée à des concerts la forme d'un cône ou d'une pyramide : on placerait alors l'orchestre dans la partie supérieure, et le son serait réfléchi de tous côtés très-distinctement. Il cite une église où l'orchestre est caché, et placé de manière que les sons ne parviennent à l'auditoire qu'après avoir été réfléchis par les parois de la voûte.

Idées générales sur les organes de l'ouïe et de la voix.

Organes de l'ouïe.

(460) Il paraît que la partie essentielle, pour la perception du son, est une pulpe gélatineuse dans laquelle viennent s'épanouir les extrémités du nerf acoustique; c'est du moins la partie la plus constante dans les divers animaux où on a découvert les organes de l'ouïe. Il y en a cependant un très-grand nombre dans lesquels on n'a pas même trouvé cette pulpe, et qui néanmoins donnent des preuves non équivoques qu'ils entendent.

La pulpe gélatineuse est renfermée dans différens sacs entourés de diverses parties propres à renforcer le son, ou l'empêcher d'ébranler trop fortement les fibres acoustiques. Le nombre et la disposition de ces parties varie

considérablement dans les diverses espèces d'animaux; leur ensemble constitue l'oreille. (*Voyez* la partie de notre Cours, qui traite la Zoologie).

Organes de la voix.

(461) Les organes de la voix ne se trouvent que dans les mammifères, les oiseaux, les reptiles. Il ne faut pas confondre la voix avec le bruit que produisent certaines espèces de poissons ou d'insectes par le frottement mutuel de quelques parties de leur corps.

La voix se forme de l'air contenu dans la cavité de la poitrine. Cet air, chassé par les muscles de l'expiration, parvient au nœud de la gorge, et passe entre deux membranes tendues; c'est là que se produisent les sons, qui se trouvent ensuite modifiés dans les cavités de la bouche et des narines. C'est de la mobilité de la langue et des lèvres que dépend l'articulation des mots. Cette extrême mobilité ne se trouve que dans l'homme.

La concavité des narines, dans l'homme, fait plus que la bouche pour l'agrément de la voix, qui devient sourde et désagréable dans les rhumes de cerveau, ou quand on se bouche le nez. C'est par une erreur populaire qu'on dit alors *parler du nez;* c'est précisément parce qu'on n'en parle pas, que la voix est désagréable.

Dans les oiseaux, les organes de la voix sont plus compliqués que dans les mammifères; les lames vibratoires sont presque dans la poitrine. Le gosier peut s'allonger ou se raccourcir, et son extrémité supérieure peut se fermer plus ou moins; de sorte qu'il fait véritablement l'office d'un instrument à vent du genre de la trompette et du cor de chasse. (*Voyez* la partie Zoologique).

Ventriloques. Depuis plusieurs années, on parle beaucoup des ventriloques; on en a vu effectivement qui produisent des illusions extrêmement remarquables; mais on a fait à ce sujet les contes les plus absurdes; et le nom

même est une absurdité, puisqu'il est impossible que, dans aucun cas, la voix puisse sortir du ventre, et que si cela était, elle ne produirait pas tous les effets surprenans que l'on remarque. Les ventriloques sont des personnes dont le gosier est très-mobile, soit par conformation naturelle, soit parce que, dès l'enfance, elles se sont accoutumées à imiter les différentes modifications des sons qu'elles entendaient, et par conséquent à imiter le son d'une voix qui sort d'une cave, d'un buisson, etc.

TRAITÉ

DES FLUIDES INCOËRCIBLES.

INTRODUCTION

A L'ÉTUDE DES FLUIDES INCOËRCIBLES.

(462) On a imaginé, pour expliquer les phénomènes de la chaleur, de la lumière, de l'électricité et du magnétisme, des fluides particuliers, élastiques, éminemment subtiles, capables de pénétrer la plupart des corps avec la plus grande facilité, et que, pour cela, on a nommé *fluides incoërcibles*. On les nomme aussi *fluides impondérables*, parce qu'il n'a pas été possible jusqu'ici de constater qu'ils sont pesans.

On voit, d'après ces définitions, que les fluides incoërcibles diffèrent essentiellement des corps que nous avons étudiés jusqu'ici, dont les propriétés caractéristiques consistent dans l'impénétrabilité et la pesanteur; mais, au défaut de ces caractères auxquels nous reconnaissons ordinairement les corps, quels sont ceux qui peuvent conduire à admettre l'existence des fluides incoërcibles? C'est sur quoi il nous paraît nécessaire de jeter d'abord un coup d'œil rapide.

(463) L'observation journalière nous apprend que la lumière et la chaleur se propagent à de grandes distances du foyer d'où elles émanent; dès les premières expériences, on remarque que les phénomènes électriques et magnétiques se font sentir aussi à d'assez grandes distances : enfin, on prouve par expérience, que la lumière, la chaleur, l'électricité, le magnétisme se propagent à travers le vide, que

nous pouvons faire au moyen de la machine pneumatique, peut-être même plus facilement qu'à travers l'air. Ces derniers phénomènes sont surtout importans, en ce que ce sont ceux qui conduisent le plus immédiatement à l'admission des fluides incoërcibles ; il ne paraît y avoir que deux hypothèses possibles pour les expliquer.

1.ère HYPOTHÈSE.

(464) Descartes (*) qui, par ses travaux, commença à faire sortir les sciences physiques du dédale où elles étaient plongées, admit, pour expliquer les *phénomènes de la lumière*, l'existence d'une matière éminemment subtile, répandue dans tout l'univers, qui traverse tous les corps avec la plus grande facilité, et dont, par conséquent, on ne saurait purger aucun vase, quelle qu'en soit la matière. Ce fluide a reçu le nom d'*éther* ; on le regarde comme mélangé à l'air, à la surface de la terre, et comme seul au-delà des limites de notre atmosphère.

Les partisans de cette hypothèse, parmi lesquels on compte des hommes du plus rare mérite, considèrent la lumière, comme le résultat d'un certain mouvement de vibration du corps lumineux, qui se communique à l'éther, comme nous avons vu les vibrations sonores se communiquer à l'air et parvenir ainsi jusqu'à notre oreille, n.º 448 et suivans.

(*) Descartes naquit à La Haye, en Touraine en 1596 et mourut en 1650 à Stockolm où il avait été appelé par la reine Christine qui desirait le voir et l'entendre. Son corps fut rapporté en France en 1667. Tout le monde a entendu parler des tourbillons dont Descartes avait rempli l'univers, pour expliquer divers phénomènes. Ce philosophe se laissa égarer par son imagination ; mais ses erreurs mêmes sont du genre de celles qui décèlent l'homme de génie. Il fit en mathématique de brillantes découvertes qui lui assurent un rang distingué parmi les géomètres.

Rumford, admettant aussi l'existence de l'éther et considérant l'analogie d'un grand nombre des phénomènes de la chaleur avec ceux de la lumière, considéra le foyer de chaleur, comme un centre de vibrations qui se communiquaient au fluide éthéré et parvenaient par ce moyen jusqu'à nos sens (*). Sans doute, Rumford concevait un genre de vibration particulier, différent de celui qui donne naissance à la lumière.

On ne peut refuser à l'hypothèse de Descartes d'être d'une simplicité séduisante ; elle explique d'une manière très-naturelle et très-facile, tous les phénomènes mécaniques de la propagation de la lumière et de la chaleur, depuis le foyer lumineux ou calorifique jusqu'à nos sens, la réflexion à la surface de certains corps, la réfraction en passant à travers d'autres : il existe cependant des phénomènes mécaniques qu'on ne peut expliquer de la même manière ; tels sont les phénomènes de lumière découverts, il y a quelques années, par Malus, et dont nous traiterons, liv. 6, chap. 6. On ne saurait trop concevoir non plus, dans cette hypothèse, certaine action chimique de la lumière sur différens corps ; on ne voit pas pourquoi les corps, en s'échauffant, augmenteraient de volume, et encore moins comment la plupart des corps solides, exposés à une température plus ou moins élevée, pourraient passer à l'état liquide et les liquides à l'état de vapeurs, à moins d'admettre que c'est le mouvement de vibration, acquis par ces corps, qui désagrège les molécules et les porte à une certaine distance les unes des autres.

On a fait aussi à l'hypothèse de Descartes une objection assez forte ; savoir, que, dans cette hypothèse, la lumière devrait se propager dans tous les sens et autour de

---

(*) Voyez le mémoire de Rumford sur la chaleur. Paris, 1804.

tous les obstacles, par des ondes lumineuses secondaires, comme nous l'avons dit, à l'égard des vibrations sonores: en sorte qu'il ne devrait jamais se former d'ombre derrière un corps opaque, et qu'un tel corps, placé devant notre œil, ne devrait pas nous empêcher de voir le corps lumineux. Or, on sait qu'il en est autrement, puisque, suivant la position du soleil, il y a toujours telle ou telle partie de la terre qui se trouve plongée dans l'obscurité.

On fait encore aux Cartésiens cette autre objection, que le fluide éthéré qui remplit l'univers, et au milieu duquel, par conséquent, les mouvemens des corps célestes s'effectuent, finirait à la longue, quelle que soit sa rareté, par altérer ces mouvemens; or, l'observation n'a fait découvrir aucune altération dans le mouvement des planètes.

(465) A l'égard de l'électricité, on pourrait encore supposer un nouveau genre de vibration qui existerait tantôt seul, tantôt conjointement avec les vibrations lumineuses et même avec les vibrations calorifiques. Il semble qu'on pourrait expliquer la plupart des phénomènes de cette manière. On aurait pourtant un certain genre de difficulté; car, on observe souvent dans un corps, qu'une des extrémités est à un certain état électrique, tandis que l'extrémité opposée est à un état contraire; il faudrait alors admettre à-la-fois deux espèces de vibrations électriques dans le même corps.

Le célèbre Euler, qui avait admis l'hypothèse du fluide éthéré, concevait les phénomènes de l'électricité d'une autre manière; il considérait les corps, comme imbibés de ce fluide, qui se trouvait dans leurs pores à un état de compression plus ou moins considérable. Tant que la force élastique de l'éther était la même dans les différens corps en présence, il ne se passait rien de particulier; mais, lorsque, par une cause quelconque, la force élastique de l'éther venait à être plus grande dans un corps, que dans ceux qui l'environnaient, la tendance à l'équilibre donnait

lieu aux divers phénomènes observés. C'est précisément l'hypothèse de Franklin, à cette différence près, que Euler attribuait au fluide éthéré, ce que Franklin attribuait, avec plus de raison, à un fluide particulier.

(466) Quant aux phénomènes magnétiques, Descartes les expliquait par l'effet du tourbillon rapidement agité, qu'il avait imaginé autour de la terre ; le fluide subtil de ce tourbillon, traversait la plupart des corps dans tous les sens avec la plus grande facilité, et ne produisait alors aucun phénomène ; mais, dans le fer (il faudrait aujourd'hui ajouter plusieurs autres métaux), les pores étaient tellement faits et disposés les uns à l'égard des autres, que le tourbillon entrait par un bout du barreau et sortait par l'autre. On admettait un semblable tourbillon autour de chaque aimant. Cette hypothèse n'a plus aucun partisan, parce qu'en effet, elle ne peut suffire à l'explication de tous les phénomènes et à leur liaison mutuelle ; elle porte d'ailleurs avec elle un certain caractère d'absurdité.

2.e HYPOTHÈSE.

(467) Newton, dans sa théorie de la lumière, au lieu de supposer un fluide éminemment subtil répandu dans tout l'univers, et auquel se communiquaient les vibrations du corps lumineux, a considéré la lumière même comme un fluide extrêmement subtil, émané du foyer lumineux, et lancé dans l'espace avec une grande vitesse ; ce fluide, dont les molécules se succèdent sans interruption, a la propriété de traverser certains corps, que pour cela on nomme corps diaphanes ; il est, au contraire, réfléchi à la surface des corps polis et brillans, de la même manière qu'un corps solide élastique, en faisant l'angle de réflexion égal à l'angle d'incidence. Les corps de couleurs ternes ont la propriété d'absorber une grande par-

tie des rayons : enfin, ce fluide est susceptible d'agir chimiquement sur divers corps, de les décomposer, ou de provoquer leur combinaison avec d'autres corps, etc.

Cette théorie, qui s'adapte avec facilité à tous les phénomènes lumineux observés, est cependant aussi sujette à diverses difficultés ; ainsi, on objecte, 1.° que les particules lumineuses qui sont lancées du soleil, des étoiles et de tous les corps lumineux, avec une grande vitesse et sous tant de directions différentes, devraient se heurter dans l'espace et se gêner mutuellement dans leurs mouvemens de translation.

2.° Que l'immensité de l'espace où affluent, depuis tant de siècles, des flots de lumières, devrait en être entièrement remplie ; de sorte que, d'une part, le fluide lumineux devrait autant retarder le mouvement des corps célestes que le fluide éthéré de Descartes, et que, d'une autre, l'espace devrait toujours rester éclairé, quand bien même le corps lumineux se trouverait tout-à-coup éclipsé par un corps opaque ou même éteint. Or, ce n'est pas ce qu'on observe, puisque tous les jours les différens peuples sont plongés, pendant plus ou moins de temps, dans une obscurité plus ou moins profonde. On sait d'ailleurs, qu'à l'instant même où on éteint un corps lumineux, enfermé dans un endroit où il ne peut pénétrer aucune autre lumière, on retombe dans l'obscurité.

3.° En admettant que la lumière est une émanation du corps lumineux, on se demande naturellement comment se réparent les pertes continuelles que font, et qu'ont fait depuis tant de siècles, les différens astres lumineux.

Pour parvenir à répondre à ces objections, on admet, 1.° que les particules lumineuses sont d'une ténuité extrême, et que leurs distances respectives sont infiniment plus grandes que leurs diamètres ; en sorte que les molécules d'un rayon peuvent passer entre celles d'un autre avec la plus grande facilité. Cette extrême ténuité conduit

aussi à concevoir que la quantité de lumière émanée d'un astre, pendant même une longue suite de siècles, est si petite, que le foyer lumineux ne peut diminuer sensiblement d'activité ; c'est ainsi, par exemple, que les corps odorans, et plus particulièrement le musc, répandent leur odeur pendant une longue suite d'années, sans diminuer de poids en aucune manière et sans cesser d'être odorans.

2.° On admet que la lumière émanée du corps lumineux, est absorbée rapidement par tous les corps sur lesquels elle se porte, et qu'elle se combine avec eux pour donner naissance à divers produits. Il en résulte que quand le corps lumineux est éteint, il ne peut rester après lui aucune particule lumineuse libre, et, par conséquent, que l'espace est absolument vide, comme l'exige l'uniformité du mouvement des corps célestes.

(468) D'après l'idée de Newton sur la lumière, on a conçu aussi un fluide particulier pour expliquer les phénomènes de la chaleur. Ce fluide, développé au foyer de chaleur, peut ensuite rayonner comme la lumière, traverser divers corps avec plus ou moins de facilité, être réfléchi à la surface des autres : lorsqu'il s'introduit dans les corps, il en écarte les molécules et provoque ainsi l'augmentation de volume. Il est aussi susceptible d'entrer en combinaison; et c'est par ce moyen que les solides peuvent passer à l'état liquide, et les liquides à l'état de vapeur.

Le fluide de la chaleur ou *calorique*, a beaucoup d'analogie avec le fluide lumineux ; il produit, dans beaucoup de cas, des effets absolument semblables ; mais il en produit aussi d'autres absolument différens qui le font regarder comme un fluide particulier, *sui generis*. On peut faire à l'hypothèse du fluide de la chaleur, à-peu-près les mêmes objections qu'au fluide lumineux, et y répondre à-peu-près de la même manière. Ainsi, par exemple, il faut nécessairement admettre que le calorique est continuellement absorbé par tous les corps avec lesquels il se combine pour

former divers produits. Sans cette précaution, l'univers ne serait plus habitable depuis le nombre de siècles que le soleil nous lance des flots de chaleur.

(469) Relativement à l'électricité, le célèbre Franklin conçut aussi un fluide distinct, doué de propriétés particulières qui le font différer également du fluide de la lumière et de celui de la chaleur : et, en effet, les phénomènes de l'électricité sont essentiellement distincts de tous les autres en beaucoup de points. Franklin regardait le fluide électrique comme répandu dans tous les corps, dont chacun en possédait une quantité plus ou moins grande suivant sa nature. Tant que le fluide électrique était en équilibre dans les différens corps en présence, il ne se passait rien de particulier ; mais lorsque, par une cause quelconque, l'équilibre était rompu, il tendait à l'instant à se rétablir, et de là résultaient tous les phénomènes observés. Cette théorie, qui est à-la-fois très-simple et très-lumineuse, rend parfaitement raison de tous les phénomènes observés ; mais la plupart des physiciens français admettent deux espèces de fluides électriques qui, par leur combinaison, forment un fluide neutre. C'est de l'action, tantôt mécanique, tantôt en quelque sorte chimique, de ces deux fluides l'un sur l'autre, que résultent tous les phénomènes électriques.

(470) A l'égard du magnétisme (*), on admet encore un fluide subtil qui a la propriété d'agir sur le fer, sur l'acier et sur quelques autres métaux, et qui traverse les autres corps, sans produire sur eux aucune action. On peut expliquer les phénomènes magnétiques, soit en considérant un seul fluide répandu dans tous les corps magnétiques, dans lesquels il tend à se mettre en équilibre, soit en admet-

(*) Il ne faut pas confondre ce que nous nommons ici magnétisme avec certains effets singuliers, dont les causes sont peu connues, qui se passent dans les corps vivans, et à l'ensemble desquels on a donné fort improprement le nom de *magnétisme animal*.

tant deux fluides qui, par leur action mutuelle, tantôt mécanique, tantôt chimique, produisent les phénomènes observés.

OBSERVATIONS.

(471) D'après le phénomène principal que nous avons cité, savoir : que les effets de la chaleur, de la lumière, de l'électricité et du magnétisme se font sentir à distance à travers le vide que nous savons faire, il faut nécessairement admettre ou l'existence d'une matière extrêmement subtile constamment répandue partout, et à la faveur de laquelle se propagent les vibrations de différens genres dont il faut supposer les corps capables ; ou bien, il faut admettre que les divers phénomènes sont produits par des fluides particuliers qui émanent de certains corps dans certaines circonstances, qui peuvent ensuite se mouvoir avec plus ou moins de vitesse et exercer des actions mécaniques ou chimiques sur les corps qu'ils rencontrent.

Nous avons vu les objections principales qu'on peut faire à chacune de ces hypothèses ; mais, jusqu'à ce qu'on ait trouvé quelque chose de meilleur, il faut nécessairement en adopter une pour fixer les idées et lier entr'eux les différens phénomènes constatés par l'expérience. Or, malgré la simplicité de l'hypothèse de Descartes qui s'adapte, d'une manière très-naturelle, à beaucoup de phénomènes, nous adopterons les idées de Newton et celles que nous avons exposées sous le titre : 2.ᵉ *hypothèse*, parce que, tout bien considéré, elles sont sujettes à moins de difficultés réelles et qu'elles expliquent tout d'une manière assez plausible. Mais, nous sommes loin de vouloir dire que les choses se passent réellement, comme on l'entend dans ces hypothèses ; nous regardons les fluides caloriques, lumineux, électriques et magnétiques, comme des instrumens commodes pour expliquer les phénomènes, les lier convenablement entr'eux et nous aider à les pré-

voir ; en sorte que s'ils ne sont pas les véritables agens employés par la nature, ils peuvent en tenir lieu dans nos théories, jusqu'à ce qu'il nous soit donné de connaître la vérité.

Nous partagerons ce que nous avons à dire sur les fluides incoërcibles en quatre livres, qui feront suite aux quatre précédens.

LIVRE CINQUIÈME.

DU CALORIQUE.

On a donné le nom de calorique à un fluide élastique, impondérable, éminemment subtil, qui pénètre tous les corps avec la plus grande facilité et qu'on *suppose* être la cause de tous les phénomènes de la chaleur. Les sources du calorique sont :

1.° Le soleil qui produit, en général, les différences de température sous les divers parallèles ;

2.° La combustion ;

3.° Une multitude d'autres opérations chimiques ou physiques, dont nous aurons occasion de parler.

Le calorique ne peut être en équilibre, à moins qu'il ne soit au même degré de densité dans toute l'étendue de l'espace et dans tous les corps qui s'y trouvent dispersés. Si, lorsque cet équilibre existe dans un système de corps, il arrive par un moyen quelconque, qu'une nouvelle quantité de calorique se trouve accumulée dans l'un d'eux, le fluide surabondant s'échappera aussitôt avec plus ou moins de vitesse, tant sous la forme de rayons, que par l'intermède des corps en contact.

CHAPITRE PREMIER.

Phénomènes du calorique rayonnant.

(472) *Réflexion du calorique à la surface des corps polis.* — Le calorique, échappé d'un foyer de chaleur sous la forme de rayons, a la propriété de se réfléchir à

la surface des corps polis, en faisant l'angle de réflexion égal à l'angle d'incidence. Pour s'en convaincre, qu'on prenne, par exemple, un miroir plan; qu'on place au devant de lui, et sous un angle aigu, un tuyau de tôle, dans lequel on mettra quelques charbons allumés; qu'on détermine la direction présumée du rayon réfléchi, en prenant l'angle de réflexion égal à l'angle d'incidence, et que sur cette direction, on place un thermomètre; on verra l'instrument monter promptement de plusieurs degrés, tandis qu'un autre thermomètre semblable, placé hors de cette direction, restera sensiblement stationnaire.

On peut aussi faire l'expérience d'une autre manière: qu'on dispose un corps en ignition, en A, vis-à-vis un miroir concave, *fig.* 163; les rayons calorifiques, Aa, Ab, etc., échappés du corps A, se réfléchiront sur le miroir et iront se couper tous sensiblement en B; en sorte que, si on place en ce point un corps combustible, de l'amadoue, par exemple, il s'enflammera très-promptement, tandis que le même effet n'aura pas lieu, si on le place partout ailleurs, même plus près du corps A.

La position du foyer de rayons réfléchis est variable avec la position du corps en ignition. Si ce dernier se trouvait en B, les rayons directs deviendraient B*b*, B*a*, etc., et les rayons réfléchis seraient *a*A, *b*A, etc., de sorte que le foyer de réflexion se trouverait alors en A, et qu'un corps placé en ce point s'échaufferait considérablement.

Saussure et Pictet ayant disposé deux mirois concaves, AB, CE, *fig.* 164, vis-à-vis l'un de l'autre, à la distance de 4 mètres, placèrent un thermomètre T au foyer d'un miroir, et à l'autre un boulet F de 54 millimètres de diamètre, qui avait été chauffé au rouge, et refroidi jusqu'à ne plus donner de lumière dans l'obscurité. Ils virent alors le thermomètre T monter de $10^{d}\frac{1}{2}$ en 6 minutes, tandis qu'un thermomètre placé à la même distance, hors des miroirs, ne monta que de 2 degrés. Ainsi, l'effet du calorique réfléchi a été d'élever la température du thermo-

mètre focal de 8^{d} $\frac{1}{2}$. M. Pictet remplaça le boulet par une bouteille remplie d'eau bouillante, et obtint un effet analogue. La *fig.* 164 peut assez indiquer que les rayons partis du point F, tombent sur le miroir AB en *a*, *b*, *c*, *d*; qu'ils sont ensuite portés par la réflexion en *a'*, *b'*, *c'*, *d'*, et de là en T. On doit concevoir que le thermomètre envoie aussi des rayons de la même manière au corps F; mais ce dernier étant plus chaud, les échanges sont à l'avantage du thermomètre, jusqu'à ce qu'il se soit établi un équilibre de température; après quoi, les deux corps s'envoient mutuellement la même quantité de rayons calorifiques.

En substituant à la place du boulet un vase rempli de glace, on voit à l'instant le thermomètre descendre. Quelques physiciens en ont conclu qu'il existait des rayons frigorifiques qui, par réflexion, étaient portés sur le thermomètre; mais il est facile de concevoir que ce qui se passe ici est absolument semblable à ce qui se passait ci-dessus; seulement, le thermomètre étant le corps le plus chaud, c'est lui qui doit perdre du calorique, jusqu'à ce qu'il se soit établi un équilibre de température.

(473) *Absorption du calorique par les corps à surface terne.* — Lorsque les rayons de calorique, au lieu de tomber sur une surface polie, tombent sur une surface terne, ils sont en très-grande partie absorbés. Qu'on enduise, par exemple, le miroir, *fig.* 163, de noir de fumée, et qu'on place également en A un corps en ignition, on reconnaîtra, en plaçant un thermomètre en B, qu'il y a très-peu de rayons réfléchis. Dans ce cas, le miroir s'échauffera beaucoup plus promptement que dans le cas où sa surface était brillante. En général, les corps dont la surface est grossièrement polie, ou d'une couleur foncée, s'échauffent beaucoup plus promptement que ceux dont la surface est blanche et brillante.

On remarque aussi que la faculté d'émettre le calorique est plus grande dans un corps dont la surface est terne que dans un autre de même nature dont la surface est brillante,

en sorte que, dans le premier cas, le corps se refroidit beaucoup plus vite que dans le second. Il résulte des expériences très-exactes, faites dans le même temps par M. Leslie et par M. Rumfort, que, dans des corps de même nature, la faculté émissive et la faculté absorbante suivent, dans tous les cas, la même loi (*).

Si on dispose à la surface de la neige, des morceaux d'étoffes blancs et des morceaux d'étoffes noirs, on reconnaîtra que la neige ne se fondra pas sous l'étoffe blanche, parce qu'elle réfléchit les rayons de calorique, et qu'au contraire elle fondra très-sensiblement sous l'étoffe noire, qui les absorbe. Les montagnards de Chamoni sont dans l'usage de répandre de la terre noire sur la neige, pour en hâter la fonte, et avancer ainsi de beaucoup le temps où on peut labourer et ensemencer les champs (*).

Les habits noirs sont chauds au soleil et froids à l'ombre. Dans le premier cas, ils absorbent le calorique et le communiquent au corps; dans le second, ils dérobent au corps du calorique, qu'ils transportent dans l'air et les corps environnans. Il convient, pour aller au soleil, dans

---

(*) *Leslie*, an experimental inquiry in to the nature and propagation of heat. London 1804.

Rumford. Mémoire sur la chaleur. Paris 1804.

Ces deux savans ont travaillé en même temps à l'insçu l'un de l'autre; c'est cependant à M. Leslie qu'appartient la priorité. Ils sont parvenus aux mêmes résultats; il n'y a de divergence que dans les théories qu'ils ont adoptées, et ces théories diffèrent toutes deux de la nôtre. Rumford n'admet pas le fluide calorifique; il regarde les divers phénomènes de la chaleur comme résultants d'une certaine vibration des corps: c'est ce que nous avons remarqué pag. 368. M. Leslie admet l'hypothèse du fluide calorifique, mais il n'en admet pas le rayonnement.

(**) Saussure. Voyage dans les Alpes, t. 3. p. 220.

l'été, de s'habiller de blanc ; et pour rester à l'ombre, pendant l'hiver, il en faudrait faire autant.

Lorsqu'on construit une cheminée, il faut garnir l'intérieur de faïence blanche, qui réfléchira le calorique dans l'appartement, et ne pas le noircir comme le font souvent les ouvriers. Si on veut échauffer un appartement par le moyen d'un poêle, il faudra, autant qu'on pourra, en conserver la surface noire et terne.

(474) *Réfraction du calorique.* — Le calorique rayonnant est aussi susceptible de traverser les corps diaphanes ; et dans ce cas, si les rayons sont obliques à sa surface, ils sont réfractés ; non pas cependant à la manière d'un corps solide qui traverse un liquide ; mais en faisant l'angle de réfraction plus petit que l'angle d'incidence, ce qui paraît venir de l'attraction que le corps exerce sur le calorique. Si on présente au soleil une lentille de verre, les rayons de lumière et ceux de calorique seront réfractés ; ils se rassembleront à une petite distance derrière la lentille, en un point qu'on nomme *foyer* ; de manière que si on place en ce point un corps combustible, de l'amadoue, par exemple, il s'enflammera.

CHAPITRE II.

Equilibre de température entre les corps en contact. Propagation de la chaleur par l'intermède des corps.

(475) *Equilibre de température.* — Lorsque deux corps de températures différentes sont en contact, le plus chaud partage son calorique avec le plus froid, soit par une émission de rayons calorifiques, soit par une propagation de proche en proche. Quoi qu'il en soit, après un temps plus ou moins long, il s'établit un équilibre de température. Cette circonstance nous explique les diverses sensations de chaud et de froid que nous éprouvons quelquefois au contact des différens corps. En effet, si nous touchons un corps dont la température soit plus basse que la nôtre, l'établissement d'équilibre exige que ce corps nous enlève du calorique, et dès lors nous éprouvons la sensation du froid. Si, au contraire, nous touchons un corps dont la température soit plus élevée que la nôtre, ce corps nous communique du calorique, et nous éprouvons alors la sensation du chaud.

C'est par cette raison que les caves nous paraissent chaudes en hiver, et froides en été. La chaleur de ces souterreins est à-peu-près constante; mais en hiver, notre corps, plus froid, enlève du calorique à l'air de la cave, et dans l'été, au contraire, il lui en communique.

Il résulte de quelques expériences faites par MM. Bertholet, Pictet et Biot, que le choc détermine une plus

prompte communication du calorique, que le simple contact (*).

(476) *Lois de la propagation de la chaleur à travers les corps.* — Concevons une barre métallique de deux ou trois mètres de longueur, mise en communication avec une source constante de chaleur; supposons cette barre percée, de 4 décimètres en 4 décimètres, de trous remplis de mercure, et dans lesquels soient plongés des thermomètres.

En prenant la différence entre la température de l'air et celle des différens thermomètres, on aura la température de la barre, de 4 décimètres en 4 décimètres.

Les distances respectives à la source de chaleur forment ici une progression arithmétique, et on trouve par l'expérience que la température forme une progression géométrique décroissante à partir du foyer. Le décroissement de chaleur est si rapide, qu'il n'y aurait pas moyen d'élever d'un degré la température à l'extrémité d'une barre de fer de 2 mètres de longueur, en la chauffant à l'autre extrémité; car la chaleur qu'il faudrait y appliquer serait beaucoup plus forte que celle qui serait nécessaire pour la fondre.

(477) *Différens degrés de faculté conductrice des corps.* — Tous les corps ne jouissent pas au même degré de la faculté de conduire le calorique. Si on expose au feu l'extrémité d'une baguette de fer, par exemple, et celle d'une baguette de bois de même longueur, et qu'on applique la main aux extrémités opposées, on reconnaîtra qu'elles acquièrent des températures très-différentes; en sorte qu'il est impossible de tenir par un bout une baguette de fer de quelques centimètres, lorsqu'elle est rouge à l'autre, tandis qu'on peut tenir impunément une petite baguette de bois de quelques millimètres, quoiqu'elle soit

(*) Mémoires d'Arcueil, tom. 2, pag. 447.

enflammée à l'extrémité opposée. Il faut conclure de cette expérience, que le calorique n'est pas également conduit par les deux corps ; et de là, la distinction des corps en *bons* et *mauvais conducteurs* du calorique.

La plupart des métaux sont bons conducteurs ; il y a cependant entr'eux des différences très-sensibles. Le platine est un très-mauvais conducteur, en sorte qu'on peut tenir à la main une lame de platine très-courte, quoiqu'elle soit à la chaleur rouge à l'extrémité opposée : le fer, l'acier, le plomb conduisent le calorique beaucoup plus mal que l'or, l'argent, le cuivre et l'étain ; *les pierres, les briques, le verre, le bois, le charbon, la soie, la laine, etc.,* sont en général de *mauvais conducteurs.*

Les liquides sont de très-mauvais conducteurs du calorique ; par exemple, si, après avoir mis du mercure dans un vase, on verse de l'eau bouillante par-dessus, on verra que le liquide inférieur ne s'échauffera que très-lentement. On peut remarquer dans les rivières, les mers, etc., que la température de l'eau est plus élevée à la partie supérieure qu'à quelques mètres au-dessous ; ce qui vient de ce que le liquide, échauffé à sa surface par les rayons du soleil, ne communique que très-difficilement sa chaleur aux parties inférieures.

On pourrait objecter que lorsqu'on met sur le feu un vase plein d'eau, ce liquide ne tarde pas à entrer en ébullition ; on pourra même remarquer, dans ce cas, que la partie supérieure est plus chaude que l'inférieure ; mais ceci tient à d'autres phénomènes que nous expliquerons bientôt.

Les corps gazeux sont peut-être encore plus mauvais conducteurs, et cela à ce qu'il paraît d'autant plus qu'ils sont plus raréfiés. La rareté de l'air est une des causes du froid excessif qui règne dans les hautes régions de l'atmosphère.

On peut cependant observer que les corps gazeux s'échauffent, et même assez promptement ; mais cela tient à

deux causes : 1.° à des phénomènes de dilatation qui excitent dans la masse, des courans ascendans, comme cela a lieu à l'égard des liquides ; 2.° à ce que le calorique rayonnant peut s'insinuer avec la plus grande facilité entre leurs molécules, qui sont toujours très-écartées les unes des autres.

(478) *Application de la faculté conductrice des corps.* — La diversité des facultés conductrices des corps fournit des applications utiles à nos besoins journaliers. Si on cherche à concentrer la chaleur sur une substance, il faut se servir d'un fourneau construit avec des corps mauvais conducteurs, comme, par exemple, les briques. Si, au contraire, on veut chauffer un appartement par le moyen d'un poële, il faut se servir pour sa construction de corps bons conducteurs ; ainsi, un poële de fonte échauffe beaucoup plus qu'un poële de faïence. Lorsqu'on veut conserver la chaleur de son corps, il convient de s'habiller de laine ou de toute autre étoffe de matière peu conductrice ; dans le cas contraire, il convient de s'habiller de lin, de chanvre, etc. : c'est ce que l'expérience avait appris long-temps avant qu'on eût des idées exactes sur la chaleur.

(479) *Explication de divers phénomènes.* — Les sensations variées de chaleur et de froid que nous éprouvons au contact des corps de diverse nature, quoiqu'au même degré de température, s'expliquent aussi par la faculté conductrice plus ou moins grande de ces corps. Tout le monde sait que si, pendant l'été et à l'ombre, on touche un morceau de bois, on éprouve à peine une sensation de chaleur ou de froid, tandis que si, dans les mêmes circonstances, on touche un morceau de fer, on éprouve une sensation de froid plus ou moins forte ; c'est que le bois étant un mauvais conducteur, ne saurait enlever à la main une grande quantité de calorique, tandis que le métal qui est assez bon conducteur lui enlève promptement du calorique qu'il communique à toute sa masse. La sensation de froid est très-remarquable lorsqu'on plonge la main dans un bain de mercure qui se trouve à la même

température que les corps environnans; c'est encore parce que ce métal liquide est meilleur conducteur que la plupart des corps que nous touchons habituellement.

Si nous touchions du bois et du fer exposés au soleil, le fer, en vertu de sa faculté conductrice, nous communiquerait beaucoup plus de calorique que le bois.

Si nos monnaies dans nos poches paraissent plus chaudes que nos vêtemens, c'est encore parce que le métal dont elles sont formées est meilleur conducteur que la laine ou toute autre étoffe dont nous sommes couverts.

(480) *Lois du refroidissement des corps.* — Nous avons vu précédemment la loi de la propagation de la chaleur dans un corps. Relativement au refroidissement, si on prend un vase qui n'ait aucune influence pour accélérer ou retarder le refroidissement du liquide qu'il renferme, on trouve que les temps formant une progression arithmétique, les degrés de refroidissement forment une progression géométrique. Cette observation a été faite depuis long-temps par Krafft et Richmann (*). Rumford l'a démontrée depuis avec un appareil extrêmement simple, qui consiste en un cylindre de cuivre garni à l'extérieur d'une enveloppe propre à retenir la chaleur (**).

La faculté conductrice, la diversité de poli et d'éclat des surfaces, la densité du milieu environnant, son plus ou moins d'agitation, etc., influent beaucoup sur la durée du refroidissement d'un corps.

(*) Nova. Comment. acad. Petrop. tom. 1, pag. 195.

(**) Mémoire sur la chaleur. Pag. 12.

CHAPITRE III.

Capacité de calorique. Calorique spécifique.

(481) *Pendant l'équilibre de température, le calorique se distribue uniformément entre les corps homogènes;* ainsi, en mêlant ensemble un kilog. d'eau à 34^d et un kilog. à zéro, on obtient, après le mélange, une température de 17^d. En répétant l'expérience, entre d'autres substances homogènes, on obtient des résultats semblables.

Mais lorsqu'on mêle ensemble des *corps hétérogènes*, le calorique ne se distribue pas uniformément. Si on met en contact un kilog. d'eau à 34^d et un kilog. de mercure à 0^d, l'eau cédera du calorique au métal jusqu' à ce que l'équilibre se soit établi. Or, à ce terme un thermomètre placé au milieu de l'un ou de l'autre corps, marque 33^d; d'où il suit que la température du mercure s'est élevée de 33^d, quoiqu'il n'ait reçu que la quantité de calorique nécessaire pour élever la température de l'eau de 1^d; c'est ce phénomène qu'on désigne, en disant que l'eau a une plus grande capacité de calorique que le mercure; comme si on disait que dans l'eau il y a plus de petits pores susceptibles de loger du calorique que dans le mercure.

Pour déterminer la temperature, après le mélange, il faudra avoir égard aux capacités de calorique des différens corps en présence.

Calorique spécifique.

(482) On nomme ainsi la quantité de calorique renfermée dans les corps de différente nature, sous l'unité de

poids et de température. Dans l'expérience précédente, pour une température de 33^d, l'eau possédait 33^d de calorique et le mercure seulement 1^d; ce sont les chaleurs spécifiques de ces corps. Si on prend le calorique spécifique de l'eau pour unité, on aura $\frac{1}{33}$ =0,0303 pour celui du mercure : quatrième terme de la proportion,

$$33^d : 1^d :: 1 : x.$$

Du calorimètre.

(483) Dans la méthode précédente, il faut avoir égard au calorique spécifique du vase dont on se sert, et tenir compte du calorique dérobé par l'air et les autres corps environnans; il est d'ailleurs difficile de s'assurer de l'uniformité de température : ces inconvéniens ne se trouvent pas dans le calorimètre inventé par Lavoisier et Laplace.

La construction de cet instrument est fondée sur ce principe, qu'un corps environné de glace à zéro, transmet du calorique à cette glace, jusqu'à ce qu'il soit lui-même réduit à zéro. L'instrument, *fig.* 165, est composé de trois cavités; la première *aaa* surmontée d'un couvercle est un grillage de fer qui reçoit le corps dont on veut mesurer le calorique spécifique; la seconde *ee* est destinée à mettre de la glace pilée à zéro; à mesure que cette glace est fondue par le corps, l'eau s'écoule par le robinet *c*; la troisième cavité *oo* est aussi destinée à mettre de la glace pour empêcher la chaleur extérieure de pénétrer dans les deux autres cavités. L'eau qui sort est conduite par le robinet H de manière à ce qu'elle ne peut se mêler avec celle qui sort par *c*.

L'expérience apprend qu'un kilog. d'eau à 75^d peut fondre un kilog. de glace; si un autre corps à 75^d ne fond qu'un demi-kilog., ou un tiers, ou etc., on en conclura que les chaleurs spécifiques sont

$\frac{1}{2}$, $\frac{1}{3}$, etc., ou 0, 5, 0,333. etc.

(484) Il n'est pas nécessaire de toujours ramener di-

rectement les corps à 75^d et à l'unité de poids, pour déterminer leur calorique spécifique. Soit, par exemple, un corps à 18^d et pesant 3 kil. Supposons qu'il fonde un $\frac{1}{2}$ kil. de glace en passant à zéro; en prenant le tiers de cette quantité, on aura $\frac{1}{6}$ pour le poids de la glace fondue par 1 kilog. à 18 degrés; divisant ensuite par 18, on aura $\frac{1}{108}$ ou 0,00926 pour la quantité de glace fondue par 1 kilog. de ce corps à 1^d; multipliant par 75^d, on aura 0,6945 pour la chaleur spécifique du corps, rapportée à celle de l'eau.

Si le corps proposé est liquide, il faudra l'enfermer dans un vase dont on aura déterminé la chaleur spécifique, et on soustraira de la quantité de glace fondue celle qui doit l'avoir été par le vase.

(485) Quoique l'instrument que nous venons de décrire soit très-simple, sa manipulation est fort difficile, et il faut beaucoup de soin pour arriver à des résultats sur lesquels on puisse compter. Depuis les expériences de Lavoisier et Laplace, qui sont en petit nombre, on s'est fort peu servi de cet instrument. Plusieurs physiciens ont cherché à déterminer le calorique spécifique de divers corps, mais par des moyens différens, analogues à celui que nous avons décrit n.° 481.

Calorique spécifique de diverses substances, comparé à celui de l'eau, pris pour unité.

Eau.	1,0000	
Glace.	0,9000	Kirwan.
Souffre.	0,183	
Fer.	0,1108	Lavoisier, Laplace.
Cuivre.	0,1111	Crawford.
Métal des canons.	0,1100	Rumford.
Zinc.	0,0943	Crawford.
	0,102	Wilke.
Argent.	0,082	Wilke.

Etain	0,0704	Lavoisier, Laplace.
Or	0,050	Wilke.
Plomb	0,042	Wilke.
Mercure	0,0290	Lav. Lap.
Sapin	0,60	Wil.
Tilleul des bois	0,62	Wil.
Aulne	0,53	Wil.
Chêne rouvre } Frêne commun }	0,51	Wil.
Hètre	0,49	Wil.
Charme } Bouleau }	0,48	Wil.
Orme	0,47	
Chêne blanc	0,45	
Huile d'olive	0,500	Leslie.
Huile de lin	0,528	Kirwan.
Huile de térébenthine	0,472	Kir.
Blanc de baleine	0,399	Kir.
Hydrogène	21,4000	Crawford.
Oxygène	4,7490	Craw.
Air ordinaire	1,7900	Craw.
Gaz acide carbonique	1,0459	Craw.
Azote	0,7036	Craw.

Il est bien possible que les différens degrés de chaleur spécifique indiqués dans cette table ne soient pas comparables entr'eux, puisqu'ils ont été trouvés par des méthodes différentes.

CHAPITRE IV.

De l'absorption du calorique pendant la dilatation des corps; dégagement de ce fluide pendant la condensation.

(486) *Production de froid pendant la dilatation des gaz.* — C'est surtout dans les fluides aériformes que les effets dont nous avons à parler sont remarquables. Lorsqu'après avoir enfermé dans un cylindre garni d'un piston une certaine quantité d'air ou de tout autre fluide aériforme, et avoir laissé établir l'équilibre de température, on vient à soulever le piston, et à augmenter ainsi l'espace qu'occupait le gaz, il se produit à l'instant un abaissement de température dans les corps environnans; ce qu'on peut observer au moyen d'un thermomètre placé au contact du vase.

Pour expliquer cet effet, il faut remarquer que quand l'équilibre de température est établi, les pores de tous les corps sont remplis de calorique, qui se trouve partout au même degré d'élasticité. Or, si, dans un des corps, on vient à augmenter l'étendue des pores par la dilatation, le calorique se dilate aussi, et bientôt l'équilibre est rompu. Dès lors les corps en contact doivent perdre de leur calorique jusqu'à ce que l'équilibre soit rétabli.

On se servait autrefois à Schemnitz, en Hongrie, d'une machine d'épuisement dans laquelle on employait, comme moteur, le ressort d'une masse d'air comprimée par une colonne d'eau de 40 à 50 mètres. Pour amuser ceux qui venaient visiter les mines, on ouvrait un robinet qui donnait issue à la vapeur, et on présentait un bonnet de mi-

neur à l'orifice. A l'instant, la surface intérieure du bonnet était couverte de petits glaçons très-compacts. Ce phénomène est très-facile à concevoir; l'air comprimé s'échappait rapidement par l'ouverture, entraînant avec lui une certaine quantité de vapeur aqueuse. Or, à sa sortie, il se dilatait rapidement pour se mettre en équilibre avec l'air ambiant; il devait donc enlever beaucoup de calorique aux corps environnans, et particulièrement à la vapeur avec laquelle il était en contact : il lui en enlevait assez pour lui faire franchir brusquement la distance entre l'état gazeux et l'état solide.

(487) *Production de chaleur pendant la compression.* — Lorsqu'au lieu de dilater un gaz, on vient à le comprimer, il arrive précisément le contraire de ce que nous venons de voir. On diminue par la compression l'étendue des pores, dès lors le calorique acquérant plus d'élasticité qu'il n'en possède dans les corps environnans, doit s'échapper et manifester sa présence par une élévation de température. Aussi, lorsqu'on comprime de l'air dans un piston, il se dégage une quantité de calorique si considérable, qu'un morceau d'amadoue placé dans le fond de l'appareil, s'allume à l'instant. C'est sur cette propriété qu'est fondée la construction de ces petits briquets à pompe dont on s'est servi il y a quelques années, et qui sont aujourd'hui remplacés avantageusement par plusieurs autres d'un genre différent, particulièrement par les briquets oxigénés.

On a aussi expliqué par la diminution de volume la production de chaleur qui a lieu dans diverses circonstances, que nous allons rapporter brièvement.

(488) *Production de chaleur lorsqu'on forge les métaux à froid.* — Tout le monde peut observer, qu'en battant à froid un métal, tel que le plomb, il s'échauffe considérablement. La plupart des auteurs ont attribué ce phénomène au rapprochement des particules métalliques, occasionné par l'action du marteau. Cette explication nous paraît fortement hasardée, car le plomb, comme nous

l'avons dit, n.° 174, n'est pas susceptible d'acquérir une augmentation de pesanteur spécifique par l'action d'aucune force mécanique. Rumford s'est particulièrement appuyé sur ce phénomène, pour prouver que la sensation de chaleur est le résultat d'un certain mouvement de vibration du corps; mais il serait fort singulier que les métaux les plus ductiles fussent ceux qui sont les plus susceptibles de cette sorte de vibration; car ce sont ceux qui s'échauffent le plus par l'action du forgé.

Quelques physiciens regardent le calorique comme un fluide particulier, qui ne manifeste son action de chaleur que lorsqu'il est en mouvement. Dans le cas présent, le mouvement serait communiqué par le déplacement successif des molécules, qui a lieu pendant le martelage. Cette hypothèse fait voir pourquoi les corps les plus ductiles sont aussi ceux qui s'échauffent le plus; et quoiqu'elle ait été vivement critiquée par des personnes peu habituées aux expériences, et surtout aux considérations purement physiques, nous sommes portés à la regarder comme assez vraisemblabe. Elle exigerait, d'ailleurs, très-peu de changement dans la théorie actuelle.

(489) *Production de chaleur par le frottement.* — Un autre phénomène fort remarquable est le dégagement de calorique, qui a lieu par l'effet du frottement. Tout le monde sait que les charriots fortement chargés prennent quelquefois feu par l'effet du frottement de leurs essieux dans les moyeux des roues. C'est pour éviter le feu, qui prendrait nécessairement par le frottement de la meule contre les bois qui l'environnent, que, dans les moulins, on dispose une sonnette pour avertir le garçon lorsqu'il n'y a bientôt plus de bled dans la trémie.

Les Indiens, et d'autres peuples, allument souvent leur feu en frottant l'un contre l'autre deux morceaux de bois sec.

Rumford a fait aussi beaucoup d'expériences sur la chaleur produite par le frottement. L'expérience réussit

dans le vide, dans l'air, dans l'eau, dans tous les liquides quelconques. Il paraît que le corps frotté étant constant, la chaleur varie suivant la nature du corps frottant ; quelques auteurs en ont conclu que la production de la chaleur par le frottement a lieu comme celle de l'électricité par le même moyen ; mais cela ne fait que reculer le moment de l'explication du phénomène. D'autres physiciens pensent que les corps frottans se compriment, ce qui est une idée tout-à-fait inexacte ; car il faudrait que ces corps se comprimassent très-fortement, pour permettre la production d'une si grande quantité de calorique ; et on ne voit sur eux aucune marque de compression. On en est venu à penser que c'était le fluide ambiant qui se comprimait ; mais cette explication n'est pas plus exacte.

Nous répéterons encore que l'hypothèse qui admet que le calorique ne manifeste son action pour élever la température, que lorsqu'il est en mouvement, est assez vraisemblable ; elle s'applique d'une manière toute naturelle à la chaleur produite par frottement, de même qu'à l'électricité produite par ce moyen.

(490) *Production de chaleur ou de froid par le mélange de diverses substances.* — Il est encore d'autres circonstances où il se dégage une assez grande quantité de chaleur : par exemple, lorsqu'on mêle de l'eau et de l'esprit-de-vin, de l'eau et de l'acide sulfurique, la température du mélange s'élève assez fortement. Si on mêle ensemble quatre parties d'acide sulfurique et une de glace, l'une et l'autre substance étant à 0^d, on obtient un liquide qui se trouve à la température de 100^d. Au contraire, lorsqu'on mêle quatre parties de glace et une d'acide, la température s'abaisse à 20^d au-dessous de zéro.

On remarque dans le cas de la production de chaleur, que le volume du mélange est plus petit que la somme des volumes particuliers, et on attribue le dégagement de calorique à cette diminution de volume ; mais nous observerons qu'elle est trop petite pour en être la seule cause. Il

est plus naturel de penser qu'il résulte de la combinaison un liquide qui a, par lui-même, très-peu de capacité de calorique, et que le calorique surabondant élève alors la température. Dans le cas de l'abaissement de la température, il faudra admettre que le volume du mêlange est plus grand que la somme des volumes particuliers, ce qui a effectivement lieu; mais ce qui ne peut non plus rendre raison de tout le calorique absorbé. Au reste, il faut avouer que tous ces phénomènes ne sont pas expliqués d'une manière pleinement satisfaisante.

CHAPITRE V.

Dilatation et contraction des corps par les changemens de température.

Le calorique, en s'introduisant dans les corps à la faveur de leurs pores imperceptibles, produit sur eux des effets analogues à ceux que nous avons remarqués, lors de l'introduction des liquides dans les corps solides ; ces corps augmentent de volume dans toutes leurs dimensions.

(491) *Exemples de dilatation et de contraction.* — Qu'on prenne une plaque de fer, percée d'un trou dans lequel entre avec précision un bouchon de fer ; qu'on fasse chauffer ce bouchon, et qu'on le présente au trou, on verra qu'il ne peut plus y entrer.

Si on prend un petit tube de verre, terminé à une extrémité par une boule, qu'on y introduise un liquide quelconque, on verra, en le présentant au feu, la colonne liquide augmenter de longueur, et d'autant plus que la chaleur sera plus considérable.

Si on prend une vessie aux trois-quarts remplie d'air froid et bien fermée, qu'on la présente au feu, on la verra se gonfler considérablement.

Tous ces corps, en refroidissant, diminuent de volume, et lorsqu'ils sont revenus à la température qu'ils possédaient avant l'expérience, ils ont repris le volume qu'ils avaient alors. Si on les refroidit davantage, ils diminuent encore de volume et cela indéfiniment d'après les connaissances actuelles.

(492) *Dilatation des solides.* — Les corps solides sont

très-peu dilatables, parce que la force de cohésion dont ils sont doués, s'oppose à l'action du calorique, en retenant les molécules les unes auprès des autres. Plus la force de cohésion est considérable, plus la dilatation pour un certain degré de chaleur doit être petite. On a cru jusque dans ces derniers temps, que les corps solides se dilataient uniformément depuis 0^d jusqu'à une température très-haute, c'est-à-dire, qu'à quelque température que soit déjà un corps, l'addition d'un degré de chaleur le dilatait toujours de la même quantité. Mais le beau Mémoire que M. Dulong a lu dernièrement à l'Institut doit faire changer d'opinion. M. Dulong a démontré par des expériences faites avec la plus grande exactitude, que les dilatations sont très-inégales, et que le platine offre, à cet égard, les plus grandes variations.

Il paraît résulter de diverses expériences faites par différens auteurs, et particulièrement par Sméaton, que de 0^d à 100^d, les corps solides augmentent de volume dans la proportion suivante, savoir :

Le verre	0,00083
Platine	0,00087
L'or	0,00094
L'acier	0,00112
Le fer	0,00126
Le cuivre	0,00170
L'argent	0,00189
Le laiton	0,00194
L'étain	0,00238
Le plomb	0,00287
Le zinc	0,00296

(493) *Dilatation des liquides.* — Les divers liquides sont tous aussi inégalement dilatables. Qu'on prenne, par exemple, plusieurs tubes de thermomètres égaux, renfermant, l'un de l'esprit-de-vin, l'autre de l'eau, l'autre du mercure, etc.; qu'on les plonge dans un vase rempli d'eau, que l'on fera chauffer, on verra que l'esprit-de-vin s'é-

chappera déjà par la partie supérieure du tube, que l'eau en sera très-éloignée, et le mercure encore plus.

A mesure qu'un liquide s'échauffe, la force de cohésion de ses molécules diminue, et oppose dès lors moins de résistance à l'expansion que sollicite le calorique. Aussi, à diverses températures, l'addition d'un degré de calorique n'occasionne-t-elle pas le même degré de dilatation. Plus un liquide approche du terme de l'ébullition, plus la dilatation qu'il éprouve par l'addition d'un degré de chaleur est grande. Au contraire, plus la température est éloignée du terme de l'ébullition, plus la dilatation est petite. Le mercure, l'huile de lin, présentent moins de variations, et c'est pour cela que le premier liquide est employé généralement aujourd'hui pour les thermomètres divisés en parties égales, depuis 0^{d} jusqu'à 100^{d} ; quoiqu'il soit vrai, d'après les expériences de M. Dulong, que cette division soit souvent inexacte. Newton avait employé de la même manière l'huile de lin.

On a trouvé, par les expériences les plus exactes, que de 0^{d} à 100^{d}, l'augmentation de volume est

Pour le mercure.	0,00188
Pour l'eau	0,00457
Pour l'huile de lin	0,00725

(494) *Dilatation des fluides aériformes.* — Les fluides aériformes se dilatent tous également, et leur dilatation est uniforme et égale pour chaque degré du thermomètre ; ce qui paraît tenir à ce que, dans ces corps, la force de cohésion étant zéro, rien ne peut balancer, en aucun temps, la force élastique du calorique.

Il résulte des expériences faites dans le même temps par M. Gay Lussac, en France, et par M. Dalton, en Angleterre (*), que tous les fluides aériformes, soit gaz per-

(*) Ces deux physiciens ont travaillé à l'insçu l'un de l'autre et sont parvenus à une uniformité de résultat bien précieuse dans des expériences si délicates.

manens, soit vapeurs, chauffés de 0^d à 100^d, se dilatent dans le rapport de 100 à 137,5. Par conséquent, l'augmentation de volume est de 37,5, et, en divisant par 100, l'augmentation de volume, pour chaque degré du thermomètre, se trouve 0,375, ou 0,00375, en faisant le volume à la température 0^d égal à l'unité. D'après Dalton, l'augmentation, pour chaque degré, serait 0,00372; mais la première quantité paraît plus exacte: elle avait été trouvée, il y a long-temps, pour l'air et les gaz insolubles, par M. Charles.

Il résulte de ces expériences, que si un fluide aériforme, à la température 0^d, possède un volume v, il aura un volume $v\,(1 + 0{,}00375.\, x)$, à la température x^d.

(495) *Maximum de densité des corps.* — Puisque le volume des corps change avec les différens degrés de température, il en résulte que leur densité est très-variable. Il paraît que, dans les corps solides, le maximum de densité se trouve au maximum de froid que nous puissions produire. Il paraît en être de même à l'égard des liquides qui ne sont pas susceptibles de se solidifier, quel que soit l'abaissement de température que l'on provoque en eux. Dans les liquides qui sont, au contraire, susceptibles de se solidifier, on remarque que le maximum de densité se trouve à quelques degrés au-dessus du point de congélation; par exemple, l'eau parvient à ce maximum à $4^d{,}50$, et, lorsqu'on la refroidit davantage, elle augmente de volume; ce qui paraît tenir à ce que les particules qui ont alors une tendance à se réunir en masse solide, s'arrangent de manière à ce qu'il y a un plus grand degré d'écartement entr'elles.

Tout le monde a pu observer cette augmentation de volume de l'eau, lorsqu'elle passe à l'état de glace. Par exemple, lorsque ce liquide est enfermé dans un vase, assez solide pour résister à l'effort que produit l'augmentation de volume, qui est ouvert à sa partie supérieure, et exactement rempli, on voit la glace se bomber, et former, au-

dessus de l'ouverture, une calotte hémisphérique. C'est parce que la glace est moins dense que l'eau, que les glaçons flottent à la surface de ce liquide.

Réaumur a avancé, dans les mémoires de l'Académie, année 1726, que le fer, le bismuth et l'antimoine étaient plus volumineux à l'état solide qu'à l'état liquide : il est probable qu'il en est de même à l'égard du laiton et du bronze, et peut-être de beaucoup d'autres corps ; mais il n'y a rien de bien précis à ce sujet.

Les corps gazeux permanens diminuent de plus en plus de volume, à mesure qu'on abaisse de plus en plus leur température.

Explication de quelques phénomènes qui résultent de la dilatation et de la contraction des corps par la chaleur.

(496) *Rupture des corps, produite par leur contraction.* — La contraction, dans certaines circonstances, peut produire une rupture dans les corps. C'est, par exemple, ce qui arrive quelquefois, dans les fortes gelées, aux barres de fer de nos grilles : la cause en est facile à saisir. Si on a placé les barres de fer pendant qu'elles étaient dilatées, pendant les fortes chaleurs de l'été, par exemple, et qu'on les ait solidement fixées, par leurs extrémités, dans les murailles, il est clair que quand elles se contracteront, elles feront effort pour rapprocher ces murailles ; et si celles-ci sont très-résistantes, la force réagira sur les molécules de la barre, et pourra parvenir à les désunir. Si on veut empêcher les barres des grilles de se rompre, il faut faire en sorte qu'elles ne soient retenues que par une extrémité, et qu'elles puissent jouer librement par l'autre.

Si les barres de fer ont été scellées pendant les grands froids, où elles étaient contractées, il pourra arriver qu'elles se courbent en s'allongeant, pendant les grandes chaleurs.

(497) *Rupture produite par le passage subit d'une température à une autre.* — On sait que les ustensiles de verre, les poteries, se brisent souvent lorsqu'on les fait passer trop subitement d'une température à une autre très-différente. Pour concevoir cet effet, il faut remarquer que le verre, la matière des poteries, sont de mauvais conducteurs de la chaleur. Si le vase dont on se sert a des parties épaisses et des parties minces, il arrive que les dernières sont plutôt contractées ou dilatées que les autres, et il en résulte, dans le tissu, un tiraillement qui occasionne une rupture.

De même, en supposant que le vase soit partout d'égale épaisseur, si on dirige la chaleur sur un seul point, la matière, étant un mauvais conducteur, ne sera dilatée qu'en ce point, et il en résultera un tiraillement qui produira la rupture.

En général, pour les ustensiles de verre qui doivent aller au feu, il faut choisir ceux dont les parois sont minces et qui ont à-peu-près partout la même épaisseur; pour les poteries, il faut en outre choisir celles dont la matière est plus poreuse; le calorique se propageant plus facilement dans leur intérieur et les particules pouvant, en quelque sorte, glisser plus facilement les unes sur les autres, les tiraillemens n'occasionnent pas aussi facilement la rupture.

(498) *Phénomènes résultans des variations de pesanteur spécifique, suivant le degré de chaleur.* — Lorsque pour faire chauffer un liquide, on dispose la partie inférieure du vase qui le renferme sur un foyer de chaleur, les molécules liquides qui touchent le fond du vase s'échauffent les premières et se dilatent; elles acquièrent alors un degré de légèreté spécifique, en vertu duquel elles s'élèvent à la surface; elles sont remplacées par les molécules plus froides qui arrivent de la partie supérieure. Si l'action de la chaleur est continue, il s'établit dans la masse liquide un mouvement de circulation, au moyen duquel le calorique

est charrié dans tous les points. Le liquide s'échauffe ainsi très-promptement, indépendamment de son plus ou moins de faculté conductrice.

Pour observer le mouvement de circulation, il suffit de faire flotter, dans le liquide qu'on fait chauffer, des petits corps dont la pesanteur spécifique diffère peu de la sienne. On voit ces petits corps se mouvoir, plus ou moins rapidement, les uns de haut en bas, les autres de bas en haut.

Il résulte de ce que nous avons dit, que la partie la plus chaude d'un liquide se trouve toujours vers la surface. Bonnemain, en partant de ce fait, a employé ingénieusement l'effet de circulation pour *porter facilement de l'eau chaude dans les différentes parties d'une maison.* L'eau enfermée dans une chaudière ABCD, *fig.* 166, est chauffée par la partie inférieure : au niveau du liquide est un tuyau horizontal CE qui communique par EF avec un autre tuyau FB. A mesure que le liquide s'échauffe dans l'intérieur de la cuve, la partie la plus chaude s'élève à la surface ; elle passe dans le tuyau CE et se trouve remplacée par l'eau plus froide renfermée dans EFB. Il s'établit alors une circulation, et le tuyau CE se trouve rempli d'eau chaude continuellement renouvelée.

Dans un appartement où il y a du feu, l'air le plus chaud occupe la partie supérieure en vertu de la légèreté qu'il a acquise. S'il peut entrer de l'air frais par quelqu'endroit, il s'établit, dans l'appartement, deux courans en sens contraire, l'un d'air froid à la partie inférieure, l'autre d'air chaud à la partie supérieure ; le premier se dirige vers le foyer, l'autre s'échappe au dehors. Tout le monde sait qu'étant auprès du feu, on sent sur les jambes un air froid qui se glisse par-dessous les portes : c'est pour l'éviter qu'on dispose des paravents derrière soi. On peut se convaincre facilement de l'existence des deux courans, en plaçant, près de la porte, une bougie allumée, sur le

plancher, et une autre à la partie supérieure; on verra leurs flammes agitées en sens contraires.

Anprès des tuyaux d'un poële, il y a toujours un courant ascendant d'air dilaté; c'est ce courant qui frappe les spirales de papier que les enfans suspendent au tuyau sur des fils de fer, et les fait tourner.

C'est l'air dilaté qni, en s'élevant dans le tuyau d'une cheminée, entraîne avec lui les fumées et les diverses substances volatiles qni s'échappent du combustible : on conçoit qu'il doit y avoir un certain rapport entre la largeur dn tuyau et le degré de chaleur qui se développe au foyer, pour que la construction soit parfaite. Il est bon, en général, que le tuyau soit très-étroit, parce qu'alors l'air dilaté s'échappe avec plus de vitesse.

Dans beaucoup d'endroits, *on renouvelle l'air dans l'intérieur des mines*, en établissant une circulation factice, au moyen d'un fourneau placé à l'entrée d'nn puits qui communique avec une galerie percée à jour jusque sur le flanc d'une montagne. On cite des mines où la circulation s'effectue naturellement en un sens dans l'hiver, et en sens opposé dans l'été; il suffit ponr cela que, dans l'une des saisons, l'air soit plus chaud à l'entrée du puits que dans la vallée, et que dans l'autre saison, ce soit le contraire. On cite, en Italie, des cavernes où il se produit des effets semblables; pendant l'été, il en sort un vent très-froid assez fort, et pendant l'hiver, l'air chand dn dehors s'y engouffre. (*Voy. la partie minéralogique*). Les dilatations et condensations de l'air, en différens points de notre atmosphère, paraissent être *la cause générale des vents*.

C'est sur la légèreté spécifique de l'air dilaté par la chaleur qu'est fondée la *Montgolfière* composée d'une enveloppe légère, sous laquelle on allume du feu. La chaleur dilate l'air enfermé naturellement sous l'enveloppe, qui dès lors se gonfle et bientôt acquiert une légèreté spécifique en vertu de laquelle la machine s'élève dans l'at-

mosphère, entraînant avec elle le fourneau et les combustibles qui doivent l'alimenter (427).

Applications diverses de la dilatation et de la contraction des corps par le calorique.

(A) *Des thermomètres.* (*)

(499) C'est d'après la propriété expansive du calorique de dilater les matières soumises à son action, qu'on a construit les divers instrumens dont on se sert pour déterminer les rapports de température entre les différens corps.

Le *thermomètre ordinaire*, dont la première idée est fournie par l'expérience, n.° 491, est aujourd'hui un tube de verre rempli de mercure, hérmétiquement fermé, terminé inférieurement par une petite boule ou par une spirale, *fig.* 167 et 168. Pour diviser cet instrument, on le plonge d'abord dans l'eau à l'état de glace fondante et on marque zéro à l'endroit où s'arrête la liqueur ; on le plonge ensuite dans l'eau bouillante, le baromètre étant à $0^{m},763$, et on marque le nombre 100 à l'endroit où la liqueur est montée et où elle reste stationnaire. On divise la distance entre ces deux points, en 100 parties égales ; on continue la même division au-dessous de zéro, et si on veut au-dessus de 100^{d}.

Les qualités essentielles d'un thermomètre sont, 1.° que les degrés soient comparables entr'eux, 2.° que l'instrument soit comparable à tous ceux qui se trouvent partout ailleurs entre les mains des observateurs. Pour remplir ces conditions, le mercure est préférable à tout autre liquide :

(*) L'expression *Thermomètre* est dérivée de θερμὸς *chaud* et de μέτρον *mesure*.

1.° parce qu'il ne s'attache pas aux parois du tube, 2.° parce qu'il est facile de le purger d'air, 3.° parce que, pour différentes températures depuis 0^{d} jusqu'à 100^{d}, les variations de dilatation sont moins fortes que pour tout autre liquide, 4.° parce qu'étant meilleur conducteur que beaucoup d'autres liquides, il se met plus promptement en équilibre de température. On peut cependant construire de très-bons thermomètres à alcool ; mais il faut beaucoup de précautions pour tracer les divisions qui doivent être inégales entr'elles, et plus grandes pour des températures élevées que pour des températures plus basses.

(500) *Moyens de parvenir à construire un thermomètre.*—Pour construire un thermomètre, on choisit un tube capillaire bien calibré, et on le termine ordinairement par une ampoule. Comme il serait impossible d'introduire le liquide dans ce tube au moyen d'un entonnoir, on chauffe l'ampoule pour dilater l'air et le faire sortir ; on plonge ensuite l'extrémité ouverte dans le liquide qu'on veut employer, et ce liquide s'introduit en vertu de la pression de l'atmosphère, à mesure que le tube se refroidit.

Lorsqu'on emploie le mercure, il faut le faire bouillir dans le tube pour expulser l'air qui pourrait s'y trouver : puis on fond le verre à l'extrémité ouverte pour le fermer hermétiquement.

Il n'est nullement difficile de construire un thermomètre ; mais il est impossible de parvenir directement à rendre ces instrumens comparables. Le moyen le plus simple et le plus sûr est de faire construire à-la-fois par le même ouvrier et avec les précautions convenables, une centaine de thermomètres, de les porter ensuite tous dans une étuve, avec un thermomètre étalon, et de choisir, pour les opérations délicates, ceux qui marchent d'accord avec lui. Les autres seront vendus pour l'usage ordinaire des serres, des bains, etc. : c'est par un moyen semblable qu'on parvient à graduer les thermomètres à l'alcool.

(501) *Diverses espèces de thermomètres.* — Il existe plusieurs espèces de thermomètres, qu'il est utile de faire connaître, parce qu'on les trouve mentionnées dans différens ouvrages.

Le thermomètre, dit de Réaumur, qu'on devrait nommer thermomètre de Deluc, parce que celui de Réaumur qui était à l'esprit-de-vin, diffère totalement de celui qui porte aujourd'hui ce nom, est divisé en 80 parties, depuis le terme de la glace fondante jusqu'à celui de l'eau bouillante.

Le thermomètre de Celsius ou centigrade, usité depuis long-temps en Suède et actuellement en France, est divisé en 100 parties.

Le thermomètre de Farhenheit, dont on se sert en Angleterre, a pour termes fixes, le degré de congélation forcé par le sel ammoniac, et le degré de l'eau bouillante. L'intervalle entre ces deux points est divisé en 212 parties. Le zéro de notre thermomètre coïncide avec le 32.e degré de celui-ci, ce qui donne 180^d depuis ce terme jusqu'à celui de l'eau bouillante.

Le thermomètre de Delisle, dont on se sert en Russie, n'a de point fixe que celui de l'eau bouillante; c'est-là que se trouve le zéro. Les degrés au-dessous sont des dix-millièmes de la capacité de la boule et du tube. Notre zéro correspond au 150.me degré de cette échelle descendante.

Il est très-facile de passer d'une échelle thermométrique à une autre; car, pour les degrés de Réaumur comparés aux degrés du thermomètre centigrade, on a

$$1^d \text{ centig.} : 1^d \text{ Réau.} :: 100 : 80, \text{ ou } :: 5 : 4.$$

$$\text{donc } 1^d \text{ centig.} = \tfrac{5}{4} \text{ degré de Réaumur.}$$

Ainsi, pour convertir un nombre quelconque de degrés de Réaumur en degrés centigrades, on multipliera par $\frac{5}{4}$.

Pour les degrés centigrades comparés aux degrés de Farenheit, on a

$$1^d \text{ centig.} : 1^d \text{ Farenheit} :: 100^d : 180^d :: 5 : 9.$$

donc 1^d *centig.* $= \frac{5}{9}^d$ *de Farenheit*. D'après cela, pour convertir un nombre quelconque de degrés de Farenheit en degrés centigrades, on retranchera d'abord 32 pour ramener à zéro, et on prendra les $\frac{5}{9}$ du reste. On trouvera ainsi que 50^d Farenheit correspondent à 10^d centigrades.

Pour les degrés du thermomètre de Delisle, on a

1^d *centig.* : 1^d *Delisle* : : 100 : 150 : : 2 : 3.

donc 1^d *centig.* $= \frac{2}{3}{}^d$ *de Delisle*. Si on veut convertir un certain nombre de degrés de Delisle en degrés centésimaux, on en prendra d'abord les $\frac{2}{3}$; mais, comme l'échelle de Delisle est descendante, on les retranchera ensuite de 100^d; le reste sera le degré de notre échelle; on trouvera ainsi que le 135.me degré de Delisle correspond au 10.me degré de notre thermomètre.

Le thermomètre à air, inventé par Amontons, est un tube de verre, *fig.* 169, dont la boule est en grande partie remplie d'air; le reste de l'espace est occupé par un liquide qui s'élève aussi en partie dans la branche A. Lorsque l'air de la boule est échauffé, il se dilate et pousse la liqueur dans la branche A. Cet instrument est très-sensible et peut indiquer les moindres quantités de calorique; mais, comme il est ouvert à la partie supérieure, il se trouve affecté de la pression de l'atmosphère, et en le consultant, il faut tenir compte de la hauteur du baromètre. Il serait cependant possible de le modifier et d'en faire un fort bon thermomètre comparable.

Le thermoscope est un instrument, *fig.* 170, inventé par Rumford et avec lequel il a fait les expériences que nous avons indiquées, n.º 473. C'est un tube de verre terminé par deux boules, et qui renferme une goutte de liqueur colorée *a*, qu'on nomme *index*. Si les deux boules sont également échauffées, l'air qu'elles renferment se trouve au même degré d'élasticité et l'index reste stationnaire; mais si l'une des boules est plus échauffée que l'autre, l'index est poussé du côté de la boule la plus froide, en vertu

de la différence des forces élastiques. Cet instrument est extrêmement sensible et très-propre à indiquer les plus faibles degrés de chaleur accumulés dans un point, avant que l'air environnant en soit affecté. En présentant la main à une boule à 1 mètre de distance, on voit à l'instant l'index se porter du côté opposé.

Thermomètre métallique. On a aussi construit divers thermomètres avec des métaux solides. Le plus simple consiste en une lame de laiton appliquée sur une lame de verre. Le métal, en s'allongeant ou diminuant, fait mouvoir une aiguille dont une extrémité décrit de grands arcs de cercles et marque les degrés sur une échelle circulaire.

M. Breguet, horloger célèbre, a construit, il y a quelques années, un thermomètre métallique très-ingénieux, qui est extrêmement commode et serait d'un usage très-étendu, si on pouvait parvenir à remédier à quelques petits défauts que M. Breguet lui-même y trouve. La pièce principale est un ressort en spirale, ou un ressort à boudin, composé de trois métaux accolés ensemble (*platine, or, argent*); le métal le plus dilatable (l'argent) forme la partie extérieure du spirale; de sorte que si la température vient à augmenter, cette partie s'allongeant plus que la partie intérieure, détermine le ressort à se resserrer sur lui-même; le contraire arrive par l'abaissement de température. Une petite aiguille, placée à l'extrémité du ressort, indique ces variations sur une échelle circulaire divisée en degrés.

Ce thermomètre est extrêmement sensible, et marque à l'instant même les plus légers changemens de température; il est construit sur de très-petites dimensions, ce qui le rend très-portatif; il est peu susceptible d'être brisé ou dérangé. M. Breguet en a monté dans de petites boîtes rondes, du diamètre et de l'épaisseur d'une pièce de cinq francs; il en a même monté dans des bagues de la grandeur d'une pièce de dix sous.

(B) *Des pyromètres.* (*)

(502) On nomme *pyromètres* les instrumens destinés à mesurer les hauts degrés de chaleur. Il y en a de beaucoup d'espèces; mais il n'en est peut-être pas un qui atteigne complètement le but désiré; les grands défauts de la plupart sont 1.° de ne pas être portatifs, 2.° de ne pas se prêter aussi commodément aux observations que le thermomètre ordinaire, qu'on met facilement en contact avec tel ou tel corps, 3.° de n'être pas comparables avec le thermomètre.

Les pyromètres métalliques sont assez semblables aux thermomètres de même matière. Le premier thermomètre métallique que nous avons décrit précédemment, peut facilement servir de pyromètre, pourvu qu'on le compose d'un métal peu fusible et peu altérable, comme le platine, et qu'on fixe la lame métallique sur un support moins fusible que le verre.

Les pyromètres fondés sur la loi de la propagation de la chaleur, qu'on a proposé d'employer, seraient sans doute les plus exacts; mais ce moyen n'est pas toujours praticable, parce que le foyer de chaleur est souvent trop éloigné de l'endroit où on peut faire des expériences.

La dilatation de l'air a été employée comme moyen pyrométrique. Ce genre de pyromètres consiste en une boule remplie d'air que l'on plonge dans le foyer de chaleur. Cette boule communique avec un réservoir fermé, rempli de mercure, dans lequel plonge un tube de verre. L'air, en se dilatant dans la boule, exerce une pression sur le mercure et fait monter ce liquide dans le tube de verre; la hauteur à laquelle il s'élève, indique le degré de

(*) L'expression *pyromètre* est dérivée de πῦρ *feu* et de μέτρον *mesure*.

chaleur. Ce moyen est extrêmement mauvais, parce que déjà, à la chaleur rouge, il existe à peine de l'air dans la boule; de sorte que les degrés plus élevés ne peuvent être mesurés.

On se sert généralement du *pyromètre de Wedgwood*, dont la pièce principale est un petit cylindre d'argile qui peut glisser entre deux lames métalliques, placées à angles entr'elles, et sur lesquelles est tracée une division. Le zéro se trouve à l'endroit où le cylindre peut se placer dans son état naturel, il répond au degré de chaleur où le fer paraît rouge au jour, et équivaut, à ce qu'on croit, à 580d du thermomètre centigrade. L'argile a la propriété de se contracter au feu; de sorte qu'après y avoir été exposé, le cylindre descend plus avant sur l'échelle et indique ainsi le degré de chaleur du foyer.

(C) *Machines diverses.*

(503) *Pendule à compensation.* — Les dilatations et contractions de la verge d'un pendule simple, pendant les variations de température, causent beaucoup d'inégalités dans les horloges, parce que les oscillations se trouvent par-là retardées ou accélérées. En 1738, Julien Leroi, horloger français, et Ellicor, Anglais, parvinrent en même temps à corriger cette cause d'erreur par une construction particulière, qui met en opposition les dilatations des métaux, et dont voici en général l'idée.

Soit, *fig.* 167, CDEF un chassis d'acier et GH une lame de métal qui réunit deux tiges de cuivre GI, HK, solidement fixée sur DE. La verge OP est fixée en O, par le moyen d'une goupille et se meut librement dans une ouverture pratiquée au milieu de DE. AB est le ressort de suspension.

Quand la chaleur dilate cet assemblage, le centre P de la lentille tend à s'éloigner du point de suspension A; mais, en même temps, les deux tiges de cuivre GI, HK, qui

s'allongent aussi et ne peuvent s'étendre que de bas en haut, font remonter la traverse GH, et relèvent ainsi le centre P. Il ne s'agit donc que de combiner les longueurs de ces différentes tringles, de manière à ce qu'il y ait une exacte compensation de l'allongement de haut en bas des tringles d'acier, par l'allongement de bas en haut des tringles de cuivre ; ce qui est facile d'après les tables de dilatation dressées pour les différens degrés de chaleur.

(504) *Emploi de l'effort produit par la dilatation ou la contraction des corps.* — Nous avons vu, sous les numéros 145 et 146, que l'on pouvait quelquefois employer avec avantage la force avec laquelle les corps se dilatent par l'imbibition de certains liquides : nous trouvons ici l'application d'un effet analogue, produit par l'action du calorique sur les corps. Quoique le fluide calorifique, d'après l'hypothèse que nous avons admise, soit extrêmement subtil, il est pourtant capable, en s'introduisant dans les corps, de les dilater et de produire un effort excessivement grand, qui peut être utilisé de diverses manières. On l'a employé, par exemple, pour imprimer des médailles : on disposait, à cet effet, une barre de fer entre deux murailles très-résistantes ; on plaçait le *flan* et les *poinçons* entre la muraille et une extrémité de la barre ; puis, on faisait rougir cette barre qui, en s'allongeant, forçait les poinçons à s'imprimer sur la pièce de métal.

M. Bonnemain, mécanicien distingué, a employé, il y a quelques années, les dilatations et contractions produites alternativement dans un corps par l'élévation et l'abaissement de température, pour faire un mouvement de *va et vient.* Sa machine est composée d'un cylindre traversé par des tringles de fer, et dans lequel on fait passer alternativement de l'eau chaude et de l'eau froide. Elle a été jugée capable de produire assez facilement l'effet d'un homme ; ce qui peut être extrêmement avantageux dans beaucoup de circonstances.

(505) *Emploi de la force élastique que les gaz ac-*

quière par la chaleur. — Les effets de la poudre et des machines à vapeur, ne sont encore que des résultats de la force élastique du calorique. Lorsque la poudre s'enflamme, il se développe une grande quantité de fluide aériforme (*Voyez la Chimie*), qui est dilatée par la chaleur, et dont la force élastique chasse avec impétuosité tout ce qui se trouve devant elle. C'est parce que cette force s'exerce en tous sens, que les armes à feu reculent après le coup.

La force élastique de la poudre, quoique très-considérable, le cède encore à la force élastique de la vapeur; car, au moment de l'ébullition, l'eau se dilate tout-à-coup, de manière à occuper un espace 1698 fois plus grand que celui qu'elle occupe à $+ 4^d$. D'après Vauban, 70 kilogr. d'eau réduite en vapeur, peuvent produire un effort capable de faire sauter une masse de 38500 kilogr., tandis que la même quantité de poudre ne produirait cet effet que sur une masse de 15000 kilogr.

On emploie souvent en chimie, la force élastique que le calorique communique aux corps gazeux pour décomposer diverses substances. Un corps solide ou liquide peut rester combiné avec un gaz, tant que la chaleur à laquelle il est exposé n'est pas très-considérable; mais si on vient à élever la température, il peut arriver que le corps gazeux acquière assez d'élasticité pour triompher de l'attraction de combinaison, et qu'il s'échappe; c'est ce qui arrive journellement pendant la calcination de la pierre à chaux; c'est ce qui arrive dans la préparation de l'oxigène par le mercure que nous avons cité, pag. 285, note.

(506) *Notice sur l'invention des machines à vapeur, ou pompes à feu* (*). — Salomon de Caus, ingénieur

(*) Voyez dans le journal des mines, n.° 197, une notice sur les machines à vapeurs, par M. Baillet, inspecteur divisionnaire et professeur d'exploitation au corps royal des mines.

français, en service auprès de l'électeur Palatin, a publié à Francfort, en 1615, un ouvrage où se trouve la première idée de l'emploi de la force élastique de la vapeur pour élever l'eau à une certaine hauteur. L'appareil qu'il a décrit et figuré est absolument semblable à la fontaine de compression. On place ce vase sur le feu, après l'avoir en partie rempli d'eau; alors, il se forme une certaine quantité de vapeur qui, par sa force élastique, presse la surface du liquide et le lance bientôt au-dehors sous la forme d'un jet.

Giovani Branca, dans un ouvrage imprimé à Rome, en 1629, a décrit une machine à vapeur employée pour mouvoir les pilons d'un moulin à poudre. Elle consistait en une chaudière, surmontée d'un tronc humain, et placée sur un foyer de chaleur. La vapeur qui se formait, sortait avec impétuosité par la bouche de cette figure, et frappait les ailes d'une roue qui communiquait le mouvement aux pilons. M. Baillet cite un tournebroche apporté d'Amérique par M. Lamotte, qui est une copie exacte de cette machine; un vase de cuivre est placé sur le foyer même qui doit servir à rôtir; un tube, adapté au couvercle de ce vase, conduit la vapeur sur les ailes d'une petite roue qui imprime un mouvement de rotation à la broche.

Le marquis de Vorcester proposa, en 1663, d'employer la force élastique de la vapeur, pour donner le mouvement à diverses machines. Papin fit exécuter des machines analogues, en 1680 : enfin, Newcomen et John Cawley, guidés, à ce qu'on croit, par Savery, construisirent, en Angleterre, la première pompe à vapeur. Watt perfectionna beaucoup cette machine; et elle est aujourd'hui employée partout pour élever les eaux, pour faire marcher des moulins, et à une multitude d'usages qu'il serait trop long de détailler ici.

On doit concevoir qu'en introduisant de la vapeur sous le piston d'une pompe, il sera soulevé avec force, et que si on condense ensuite cette vapeur par une injection d'eau

froide, le piston redescendra de lui-même, s'il est assez lourd. On pourra se procurer ainsi un mouvement de *va et vient*, qu'il sera facile de changer en tout autre. Telle est l'idée de la première machine à vapeur; mais il y a loin de là à la machine de Watt.

(507) *Description de la machine à vapeur de Watt.* — Les principaux perfectionnemens que Watt a faits à cette première idée, sont, 1.° que l'injection d'eau froide ne se fait pas dans le corps de pompe, mais dans un tuyau placé à côté, qui communique avec lui. Par ce moyen, le corps de pompe n'est jamais refroidi; 2.° que la vapeur agit alternativement en dessus et en dessous du piston qui, par conséquent, n'a pas besoin d'être très-lourd pour redescendre; 3.° que la machine ouvre et ferme elle-même toutes les soupapes et tous les robinets.

On voit l'ensemble d'une telle machine, *fig.* 172; A est la chaudière, B un tuyau qui conduit la vapeur dans le cylindre C. Cette vapeur est introduite par la soupape *a* sur la tête du piston, et par la soupape *c* sous le piston. *b* et *d* sont des soupapes qui font communiquer la vapeur du cylindre C dans le condensateur placé à côté, et dans lequel on voit un jet d'eau qui est toujours en activité. EF est la tige du piston d'une pompe destinée à extraire l'eau du condensateur et à la porter à côté dans un réservoir *g*, d'où elle est enlevée par la pompe *f*, pour être portée par *ii* dans le réservoir V, qui la rend à la chaudière. K est un autre corps de pompe qui alimente d'eau froide le réservoir dans lequel le condensateur est fixé. Tous ces pistons sont mus par le grand levier RS.

A la tige, EF sont fixés en *o* et *p* des leviers qui font ouvrir les soupapes *a* et *d*, *c* et *b*; pendant que la vapeur chaude entre par *a* sur la tête du piston, celle qui est au-dessous s'échappe par *d*. Le même jeu a lieu entre *c* et *b*.

Pour que la tige D soit toujours élevée perpendiculai-

rement, on a imaginé les articulations parallèles qu'on voit au-dessus.

Le grand levier RS peut communiquer le mouvement à une machine quelconque ; c'est cette force qu'on emploie à des usages très-variés, dans les mines et dans les différens atteliers.

z est une soupape par où la trop grande quantité de vapeur peut s'échapper. Le tuyau *q* est recourbé à son extrémité pour que la vapeur, qui se forme au fond de la chaudière, ne puisse pas s'introduire dedans.

m est une pierre suspendue à une chaîne qui est attachée à un petit levier *l*, à l'extrémité duquel est un contre-poids qui fait équilibre à la pierre.

Une soupape, placée à l'extrémité du tuyau *q*, communique avec le levier *l* par une chaîne : cette soupape a un certain degré d'ouverture pour introduire dans la chaudière une quantité d'eau égale à celle qui s'en échappe ordinairement en vapeur. Si l'évaporation est trop forte, en sorte que le niveau baisse dans la chaudière, la pierre *m* baissera avec ce liquide ; dès lors, la soupape s'ouvrira davantage et laissera passer plus d'eau. Si, au contraire, le niveau s'élève dans la chaudière, la pierre s'élevera également ; dès lors la soupape se fermera et laissera passer moins d'eau. Par ce mécanisme ingénieux, le niveau reste toujours constant dans la chaudière.

été employés en entier pour fondre le corps, sans avoir aucune influence sur la température (*).

Pour expliquer ces phénomènes, dira-t-on que le corps, devenant plus volumineux, absorbe le calorique, comme cela a lieu quand on dilate un volume donné d'air ; alors il faudra trouver une cause de la dilatation ; car ce serait tomber dans un cercle vicieux, que de l'attribuer au calorique absorbé.

Nous avons déjà annoncé que les corps, en se combinant entr'eux, perdent souvent leurs propriétés individuelles (126), et qu'il en résulte un composé doué de propriétés particulières, différentes de celle des composans. D'après cela, il nous paraît naturel de penser que, dans le passage d'un corps solide à l'état liquide, il y a une véritable combinaison du calorique avec le corps, et que, dans le passage d'un liquide à l'état aériforme, il se fait une nouvelle combinaison, où la proportion de calorique est plus grande. Il peut arriver aussi que le corps solide soit amené à l'état de vapeur, sans passer par l'état intermédiaire liquide ; c'est ce que nous voyons dans diverses substances. Dans ces combinaisons, le calorique perd sa faculté d'élever la température, et le corps perd les propriétés qu'il possédait à l'état solide, à l'état liquide, en un mot, il se forme un corps particulier.

Telle est notre manière d'envisager ce phénomène. Toutefois, la combinaison se fait avec les particules inté-

---

(*) La plupart des auteurs désignent sous le nom de *calorique latent* la quantité de calorique qui peut passer dans un corps sans élever sa température, et sous le nom de *calorique sensible* celui qui peut manifester sa présence par la sensation de chaleur. Nous préférons les expressions *calorique combiné*, *calorique libre*, qui montrent à l'instant l'état où se trouve le fluide ; mais la plupart des physiciens n'admettent pas comme nous la combinaison, ou du moins leurs ouvrages sont loin de la faire comprendre.

grantes du corps. Il paraît qu'aussitôt qu'elle peut se faire avec les particules constituantes, le corps est décomposé.

ARTICLE PREMIER.

De la fusion des corps.

A mesure que le calorique s'accumule dans un corps solide, il en écarte les particules, et diminue par conséquent la force de cohésion. Lorsqu'un corps solide se trouve échauffé à un certain degré, plus ou moins élevé suivant sa nature, il se trouve disposé à entrer en combinaison avec le calorique; il en absorbe une quantité plus ou moins grande, et passe à l'état liquide.

(510) *Différens degrés de fusibilité des corps.* — Tous les corps n'entrent pas en fusion au même degré de chaleur, ce qu'on peut attribuer à la force de cohésion qui unit leurs particules, et qui exige une température plus ou moins élevée, pour être balancée suffisamment, et permettre la combinaison. Quoi qu'il en soit, la table suivante indique le point de fusion des diverses substances les plus connues.

Le mercure se fond à.	—39d.
La glace à	0d.
L'huile d'olive à	10d.
La graisse de porc à	27d.
Le suif à	33d.
Le phosphore à	43d.
Le blanc de baleine à	45d.
La cire à	68d.
Le soufre à	170d.
L'étain à	210d.
Le bismuth à	256d.
Le plomb à	260d.

	Wedgwood.	cent.
Le cuivre à . . .	27d.	2530d.
L'argent à . . .	28d.	2602d.
L'or à	32d.	2894d.
Le fer à	130d.	9970d.

Il y a des corps, comme le platine, plusieurs espèces de pierres, etc., qui ne peuvent être fondus que par la chaleur la plus violente qu'on puisse produire. Il en est d'autres qui sont absolument infusibles.

(511) *Différences dans la manière de se fondre.* — Toutes les matières grasses, avant de passer à l'état liquide, commencent par se ramollir considérablement : c'est ce que nous voyons tous les jours sous nos yeux. Nous avons déjà fait remarquer que le verre, le fer, et différens autres corps*, acquièrent de la ductilité à une température plus ou moins élevée au-dessus de celle où ils se trouvent habituellement. Il est d'autres corps qui passent de l'état solide à l'état liquide, sans présenter de ramollissement appréciable; mais beaucoup d'autres se brisent plus facilement, lorsqu'ils sont prêts à fondre, qu'à la température ordinaire; ce qui annonce une désintégration de particules; tels sont, par exemple, presque tous les alliages métalliques.

Les corps solides qui sont assez bons conducteurs se fondent presqu'aussitôt au centre qu'à la surface, pourvu que leur volume ne soit pas trop considérable. Au contraire, dans les corps qui sont mauvais conducteurs, la surface se fond long-temps avant le centre; c'est ce qui a lieu dans les corps gras, la glace, etc. Ces corps nous fournissent encore le moyen d'observer, qu'une fois parvenus au degré de chaleur où ils peuvent passer à l'état liquide, tout le calorique qui s'accumule en eux entre en combinaison, et n'a aucune influence pour élever leur température. Qu'on prenne, par exemple, de la glace à zéro, qu'on l'expose à une température plus élevée, de manière à la solliciter à fondre, et qu'on plonge un ther-

momètre dans l'eau qui en résulte, on verra l'instrument marquer constamment 0^d, tant qu'il restera le plus petit morceau de glace, parce que tout le calorique absorbé entre en combinaison. On peut faire la même expérience avec toutes les matières grasses; aussi sait-on que ces matières, fondues dans une poële, ne commencent à roussir, à se gonfler de mousse, que quand toute la masse solide est passée à l'état liquide.

(512) *Quantité de calorique combinée pendant la fusion.* — La quantité de calorique que chaque corps exige pour passer à l'état solide, après avoir été amené préalablement au degré de dilatation nécessaire, est, pour ainsi dire, inconnue. Le docteur Yrvine, et M. William Yrvine, son fils, ont fait plusieurs expériences sur les quantités de calorique absorbées pendant le passage de différens corps à l'état liquide; mais il n'en résulte rien de bien positif : ce n'est qu'à l'égard de la glace que l'expérience est concluante. Nous avons déjà dit qu'en mêlant ensemble 1 kil. de glace à 0^d, et 1 kil. d'eau à 75^d, on obtenait 2 kil. liquides à 0^d; donc la glace exige, pour se fondre, la combinaison d'une quantité de calorique, capable d'élever à 75^d la même quantité d'eau.

(513) *Abaissement de température que produit la fusion d'un corps dans ceux qui l'environnent.* — On voit, d'après ce qui précède, que toutes les fois qu'un corps solide passe à l'état liquide, il doit y avoir un abaissement de température dans les corps environnans. Aussi, lorsqu'on laisse fondre un morceau de glace dans sa main, éprouve-t-on un froid assez vif, parce que la glace, pour passer à l'état liquide, dérobe du calorique à tout ce qui l'entoure, et par conséquent à la main avec laquelle elle se trouve en contact.

Lorsqu'on fait fondre un sel dans l'eau, il y a presque toujours abaissement de température, parce que le corps solide, pour passer à l'état liquide, dérobe du calorique à l'eau avec laquelle il se trouve en contact. On peut ob-

server cet effet, en faisant dissoudre dans l'eau du sel ordinaire, ou mieux encore, du sel ammoniac.

En mêlant ensemble du sel marin et de la neige, ou de la glace pilée, il se produit un froid considérable. Dans ce cas, il y a deux causes ; le sel qui, pour se fondre, absorbe du calorique, et la neige qui, pour passer à l'état d'eau, en absorbe aussi beaucoup. Les glaciers se servent de ce mélange pour faire congeler les divers sirops, et les amener à l'état où nous les voyons dans ce qu'on nomme *les glaces*. Il suffit, pour cela, d'enfermer le sirop dans un vase d'étain bien fermé, qu'on nomme *sabot*, et de l'environner de toutes parts du mélange cité, qu'on renouvelle successivement à mesure qu'il se fond. Il faut remuer souvent le sirop, pour donner à la glace la consistance pâteuse.

La neige projetée en certaine proportion dans une quantité donnée d'acide nitrique, ou d'acide sulfurique, produit un abaissement de température considérable. On peut, après avoir abaissé la température d'un corps, en le plongeant d'abord dans certain mélange, l'amener à une température plus basse en le plongeant dans un autre ; par ce moyen on peut abaisser la température jusqu'à 60 ou 80 degrés au-dessous de zéro.

ARTICLE II.

Retour des liquides à l'état solide.

(514) *Dégagement de chaleur dans le passage de l'état liquide à l'état solide.* — Lorsqu'un corps a été converti en liquide, le calorique, qu'il absorbe de nouveau, pour se mettre en équilibre avec les corps environnans, élève sa température, et le dilate successivement, comme nous l'avons vu dans le chapitre précédent ; mais lorsque le corps liquide se trouve en présence d'autres corps plus froids, il cède son calorique. S'il arrive qu'a-

près l'établissement d'équilibre, le corps se trouve encore au degré de chaleur nécessaire à sa fusion, il conserve son état; mais s'il se trouve au-dessous, l'attraction de cohésion devenant prépondérante, il se solidifie et laisse à l'état de liberté tout le calorique qui le tenait en dissolution : ce fluide manifeste alors son action sur tous les corps environnans.

On sait combien les métaux fondus laissent échapper de calorique en passant à l'état solide. On peut se convaincre également que l'eau, en passant à l'état de glace, laisse échapper beaucoup de ce fluide. Qu'on prenne, par exemple, un vase rempli d'eau pure, dans laquelle on plonge un thermomètre; qu'on entoure ce vase d'un mélange frigorifique (513); le liquide, étant parfaitement tranquille, se refroidira, sans se geler, jusqu'à quelques degrés au-dessous de zéro, comme nous le verrons bientôt. Qu'on imprime alors au vase un léger mouvement de vibration, une partie du liquide passera aussitôt à l'état de glace, et on remarquera que la température du liquide restant, s'élève alors à 0^d; ce qui ne peut provenir que du calorique mis à l'état de liberté par la solidification d'une partie de l'eau.

Nous avons déjà annoncé (389), qu'en variant le mode de vibration du vase, on peut, avec un peu d'adresse, produire dans la masse liquide divers centres de cristallisation.

(515) *Dégagement de calorique pendant la combinaison d'un liquide avec un autre corps.* — Il peut arriver aussi qu'un corps liquide, mis en présence d'un autre corps, avec lequel sa base a plus d'affinité qu'avec le calorique, soit décomposé, et que le fluide de la chaleur soit mis en liberté. C'est ce qui a lieu quand on verse de l'eau sur une pierre de chaux vive : il y a alors un dégagement considérable de calorique, et même de lumière. Le résultat de cette opération est une poudre sèche, qui est une combinaison de la chaux avec la base du corps liquide,

Il y a un grand nombre de corps qui sont susceptibles d'opérer cette décomposition d'une manière plus ou moins rapide, et par des procédés divers. On ignore absolument à quel état se trouve l'eau dans ces composés.

C'est une circonstance semblable qui se présente lorsqu'on fait dissoudre dans l'eau un sel qui admet de l'eau dans sa composition, et dont on l'a préalablement privé par la calcination. Il se produit alors une élévation de température due au calorique que laisse échapper l'eau qui entre en combinaison avant que le sel puisse se dissoudre.

(516) *Circonstances où les corps conservent l'état liquide au-dessous du terme de congélation.* — Farenheit observa le premier que, dans certains cas, la température de l'eau pouvait être abaissée de plusieurs degrés au-dessous de zéro, terme ordinaire de congélation de ce liquide. Le hasard lui fournit ensuite l'occasion de voir qu'une secousse déterminait à l'instant la congélation d'une partie du liquide ainsi refroidi. M. Blagden fit ensuite beaucoup d'expériences sur ce sujet : il parvint à abaisser la température de l'eau jusqu'à 11^d,66 au-dessous de zéro, avant qu'elle se gelât. Il remarqua que, pour faire réussir l'expérience, il fallait employer de l'eau bien pure, (de l'eau distillée bien purgée d'air) et il détermina quels étaient les mouvemens les plus propres à produire la congélation subite. Nous avons déjà dit, n.º 389, qu'un mouvement vibratoire, imprimé au vase, déterminait divers centres de cristallisation dans la masse liquide.

La possibilité d'abaisser la température de l'eau, à quelques degrés au-dessous du terme ordinaire de congélation, nous paraît tenir à ce que la forme des particules aqueuses est différente de celle des particules de glace. Or, les particules aqueuses sont en équilibre, et ont entr'elles certaines positions respectives; la solidification ne peut avoir lieu qu'autant que cet équilibre est troublé par un

moyen quelconque, ou qu'il est rompu par une grande prépondérance de l'attraction de cohésion.

M. Blagden a remarqué, dans la suite de ses expériences, que l'eau qui tient des particules limoneuses en suspension, est susceptible de se geler plus promptement que l'eau parfaitement limpide : effectivement, ces corps étrangers doivent détruire promptement l'équilibre en quelques points de la masse. Les eaux qui ont bouilli se gèlent ordinairement plus vite qu'avant d'avoir subi cette opération : on attribue cet effet à ce que, pendant l'ébullition, les sels tenus en dissolution, se sont précipités, et ont troublé la transparence du liquide.

Le moment de la congélation de l'eau est aussi abaissé de plusieurs degrés, lorsque ce liquide renferme certains sels en dissolution; mais, ce qu'il y a de remarquable, c'est que, quand l'eau vient à se solidifier, elle perd tout le sel qu'elle renfermait; la glace se trouve douce, et le liquide restant renferme le sel dont elle est dépouillée. Dans les pays froids, on emploie la congélation pour concentrer les eaux salées; par ce moyen, on économise une grande quantité de combustibles qui seraient nécessaires pour l'évaporation.

(517) *Augmentation ou diminution de volume dans le passage de l'état liquide à l'état solide.* — Lorsque les corps passent de l'état liquide à l'état solide, leurs particules prennent un arrangement particulier. Lorsqu'une masse d'eau se congèle tranquillement, on voit d'abord de petites aiguilles se former à sa surface. Ces aiguilles se multiplient bientôt dans la masse, s'entrelacent, et finissent par ne former qu'un seul corps. Les métaux présentent plus ou moins distinctement les mêmes phénomènes.

Tous les métaux éminemment ductiles, le plomb, l'étain, l'or, etc., diminuent de volume en se solidifiant; mais, d'après Réaumur, le fer, le bismuth, l'antimoine, augmentent de volume, parce qu'ils cristallisent en lamelles groupées irrégulièrement. Nous avons reconnu que

le bronze, le métal de cloche, tous les alliages cassans, refroidis promptement, se conduisent de même. L'eau augmente aussi de volume en passant à l'état de glace par l'effet de la cristallisation; c'est à cette augmentation de volume qu'est due la rupture des vases dans lesquels l'eau se gèle : l'effort produit est très-considérable. Si le vase est assez résistant, et ouvert à sa partie supérieure, la masse solide s'élève à la surface.

L'augmentation de volume produit une diminution de pesanteur spécifique. Suivant Thomson, la pesanteur spécifique de la glace est 0,92, celle de l'eau, à 15d,55, étant 1. C'est en raison de cette légèreté que les glaçons nagent à la surface de l'eau.

ARTICLE III.

Passage des liquides à l'état aériforme.

(518) Lorsqu'un corps solide a été converti en liquide, le calorique qu'il absorbe pour se mettre en équilibre avec les corps environnans, élève sa température et le dilate successivement; mais bientôt une nouvelle portion de calorique se combine avec quelques-unes de ses molécules, et les fait passer à l'état aériforme : de sorte que ce liquide *s'évapore* successivement.

Il paraît, en général, que les corps qui sont habituellement liquides, donnent de la vapeur à toutes les températures : c'est ce que tout le monde a pu observer à l'égard de l'éther, de l'esprit-de-vin, de l'eau, qui diminuent assez rapidement de poids lorsqu'ils sont exposés à l'air, dans des vases ouverts. Il y a même cela de très-remarquable, à l'égard de l'eau, qu'elle s'évapore à l'état de glace; c'est ce qu'on peut voir pendant un temps sec et froid, où la glace et la neige répandues dans les campagnes, finissent par disparaître entièrement.

Tout le monde a dû observer aussi que les différens li-

quides sont plus volatils les uns que les autres; ainsi l'éther, l'esprit-de-vin, sont plus volatils que l'eau. Il est même des corps qui paraissent, en quelque sorte, fixes à la température ordinaire : tels sont les huiles grasses, le mercure, etc. C'est sans doute parce que ces liquides exigent plus de calorique que les autres pour passer à l'état aériforme : c'est ainsi que divers sels exigent plus ou moins d'eau pour être dissous.

(519) *Evaporation dans le vide.* — Lorsqu'un des corps habituellement liquides se trouve placé dans un espace vide (sous une cloche purgée d'air), il se forme subitement une certaine quantité de vapeur qui varie suivant l'espace, suivant la température, et suivant la nature du liquide.

Suivant l'espace. A une température donnée, il ne se développe, dans un espace donné, qu'une certaine quantité de vapeur. A peine est-elle formée, que l'évaporation s'arrête, si la température reste fixe ; mais si l'espace vient à augmenter, et s'il croît, par exemple, successivement comme les nombres 1, 2, 3, la quantité de vapeur augmente et croît de la même manière. Si l'espace devenait infini, la quantité de vapeur le deviendrait également; mais bientôt il se formerait une atmosphère qui retarderait l'évaporation, comme nous verrons que le fait l'atmosphère terrestre.

Lorsqu'un espace est rempli de toute la vapeur possible, si on vient à le diminuer, une partie de la vapeur repasse à l'état liquide, et il n'en reste que ce que le nouvel espace peut renfermer à la température donnée.

Montgolfier avait profité, depuis long-temps, de la facilité avec laquelle les liquides s'évaporent dans le vide, même à une légère température, pour enlever l'humidité qui se trouve naturellement dans les substances alimentaires, et les dessécher au point de se conserver facilement, sans leur faire perdre à peine de leur goût. Il se servait, à cet effet, de la machine pneumatique, dont il

épuisait successivement la vapeur ; mais ce procédé exige une grande dépense de force mécanique. MM. Desormes et Clément ont proposé, après avoir fait une fois le vide, d'employer l'acide sulfurique pour absorber la vapeur aqueuse, à mesure qu'elle se formerait.

Suivant la température. L'espace restant le même, la quantité de vapeur qui s'y développe croît avec la température ; mais celle-ci venant à croître comme les nombres 1, 2, 3, etc., l'évaporation augmente dans un rapport beaucoup plus grand, en sorte qu'il s'évapore beaucoup plus de liquide de 10^d à 20^d, que de 0^d à 10^d.

Suivant la nature du liquide. L'expérience nous apprend que tous les liquides ne donnent pas la même quantité de vapeur, au même degré de température ; c'est-à-dire, que les liquides ne sont pas tous également volatils. L'éther donne une vapeur plus dense que l'eau ; l'eau en donne une plus dense que le mercure, etc. A la température ordinaire, la vapeur mercurielle est même si rare, qu'il n'est pas possible d'en démontrer la présence, et qu'on ne peut se convaincre de l'évaporation, que par la diminution qu'éprouve, à la longue, une quantité donnée de ce métal exposée dans des vases ouverts. Il paraît aussi, qu'à la température ordinaire, les huiles grasses donnent très-peu de vapeurs. Plusieurs autres corps, habituellement liquides, sont dans le même cas.

Quant aux corps qui ne deviennent liquides qu'à des températures élevées, on ignore à-peu-près s'il leur faut ensuite beaucoup de chaleur pour s'évaporer d'une manière sensible. Les expériences n'ayant été faites, et ne pouvant guère être faites que dans des vases ouverts, le corps se combine bientôt avec l'oxigène de l'atmosphère. On sait, cependant, que les métaux peu oxidables, comme l'argent et l'or, se volatilisent en partie à une très-haute température.

(520) *Elasticité de la vapeur aqueuse formée à diverses températures.* — La vapeur qui se dégage d'un

liquide donné, à un certain degré de température, ne diffère de la vapeur qui se forme à une température plus basse ou plus élevée, que par la force élastique dont elle est donée. Dalton a reconnu qu'à 0^d, la vapeur d'eau est capable de soutenir une colonne de mercure de 6 millimètres; qu'à $18^d,75$, elle peut soutenir une colonne de 13 millimètres; qu'à 50^d, elle en soutient une de 38 millimètres, etc.

(521) *Evaporation dans un milieu aériforme d'une certaine densité.* — Lorsque le liquide en évaporation est environné d'un fluide aériforme qui n'a point d'action sûr la vapeur, l'évaporation se fait avec plus de lenteur que dans le vide, et d'autant plus lentement, que le fluide ambiant est plus dense; mais ce qu'il y a de remarquable, c'est que, dans un espace donné, occupé déjà par un fluide aériforme d'une densité quelconque, et à une température déterminée, il se dégage précisément autant de vapeur que dans le vide; d'où il faut conclure que le fluide n'exerce aucune pression sur la vapeur. Tels sont les résultats obtenus par Saussure, Deluc, Volta, Dalton; et ce dont on peut se convaincre en disposant un baromètre dans un ballon où on fait entrer une quantité d'air plus ou moins grande, et au milieu duquel on dispose un linge imbibé d'eau. En faisant cette expérience, on remarquera, après un temps plus ou moins long, nécessaire pour le dégagement de toute la vapeur, que l'élasticité de l'air est augmentée précisément de celle qu'aurait la vapeur dans le vide. Ainsi, à la température de $18^d,75$, la hauteur du baromètre est augmentée de 13 millimètres; à 50^d, elle serait augmentée de 88 millimètres au-dessus de celle que déterminerait alors l'élasticité propre de l'air.

Il faut conclure, de ces expériences, que l'évaporation d'un liquide est entièrement due au calorique, et que la présence ou l'absence de l'air n'influe en aucune manière sur la quantité de vapeur produite. Il y a cette seule différence, que dans le vide, la vapeur se développe comme

instantanément, tandis que dans un milieu résistant, le temps nécessaire est plus ou moins long : ce qui vient de l'obstacle mécanique que le fluide ambiant oppose à la dissémination des particules de vapeur entre les siennes propres. Cette dissémination ne peut avoir lieu qu'à l'aide des nombreux interstices dont l'air est criblé.

A égalité de température, l'évaporation à l'air libre est d'autant plus abondante que le liquide présente plus de surface, parce qu'alors les points de communication avec l'air sont d'autant plus nombreux. L'évaporation est aussi plus abondante par un air agité que par un air tranquille ; parce que l'air offre alors à chaque instant des accès libres, dans de nouveaux interstices.

La vapeur se mélange avec l'air de la même manière que les fluides aériformes se mélangent entr'eux, c'est-à-dire, que les molécules de vapeur, dont le rayon d'affinité pour l'air est très-petit, s'approchent des molécules de ce fluide jusqu'à la distance qui établit l'équilibre entre la pression totale et l'effort du calorique. Il en résulte que le mélange est capable de soutenir une pression égale à la somme des forces élastiques particulières, comme il résulte des expériences ci-dessus, et par conséquent a besoin de cette pression pour être maintenu dans le même espace. S'il arrivait que la pression fût plus petite, qu'elle fût égale, par exemple, à celle que supportait primitivement l'air, le mélange se dilaterait jusqu'à ce que son élasticité fût diminuée au point de lui faire équilibre. C'est ce qui arrive à l'air libre.

(522) *L'air mélangé de vapeur, est plus léger que l'air atmosphérique.* — Il résulte des expériences de Saussure, que la pesanteur spécifique de la vapeur, sous la pression moyenne de l'atmosphère, est à celle de l'air, dans le rapport de 10 à 14. M. Gay Lussac a trouvé ce rapport de 10 à 16. Il suit de là, que l'air mélangé de vapeur est spécifiquement plus léger que l'air sec, à égalité de densité. Aussi, dans les temps où l'atmosphère est

chargé de vapeur aqueuse, le baromètre se tient-il plus bas que lorsqu'elle est sèche ; mais cette circonstance ne peut nullement indiquer la pluie, comme on le croit ordinairement.

(23) *Ebullition des divers liquides.* — Malgré l'obstacle que les fluides aériformes environnans opposent à l'évaporation, il arrive pourtant un moment où la vapeur se dégage aussi rapidement dans un milieu aériforme, d'une densité quelconque, que dans le vide : c'est lorsque la température est assez élevée, pour que la vapeur qui se forme se trouve au degré d'élasticité du fluide ambiant; c'est à ce point que le liquide entre en ébullition. Lorsqu'on fait bouillir un liquide transparent dans un vase de verre, on voit de grosses bulles de vapeur se former à l'endroit où la chaleur est particulièrement appliquée. Ces bulles s'élèvent à travers le liquide, viennent crever à la surface, et produisent ce mouvement violent si connu de tout le monde sous le nom d'*ébullition.*

Les petites bulles qui se dégagent de l'eau, avant l'ébullition, et qui produisent ce qu'on nomme un frémissement, sont dues à l'air contenu dans le liquide, qui se dilate par la chaleur. L'eau distillée, l'eau qui provient de la fonte de la glace, ne produisent pas cet effet.

L'expérience prouve que, sous la pression moyenne de l'atmosphère, tous les liquides ne commencent pas à bouillir au même degré de température : ceux qui sont les plus volatils bouillent le plus promptement. L'éther nitrique, l'éther muriatique, par exemple, sont si volatils, que la chaleur seule de la main suffit pour les faire bouillir. On trouve que, sous la pression moyenne de l'atmosphère,

L'éther sulfurique bout à la température de . .	33d
L'alcool, ou esprit-de-vin, à	79d.
L'eau, à	100d.
Le soufre, à.	200d.
L'huile de thérébenthine, à.	293d.

L'huile de lin, à. . . . . 315d.

Le mercure, à. . . . . 350d.

Les corps étrangers, que les liquides tiennent en dissolu ion, influent beaucoup sur le degré de température nécessaire à l'ébullition : ils retardent constamment l'ébullition des liquides plus volatils qu'eux : c'est ainsi que l'eau, chargée de sel, bout moins promptement que l'eau pure.

On conçoit facilement que, sous une pression moins considérable que celle moyenne de l'atmosphère, les liquides doivent bouillir à de plus basses températures, puisqu'il suffit que la vapeur qui se forme soit au degré d'élasticité du fluide environnant. C'est effectivement ce qui a lieu. L'éther sulfurique bout à la température 0d dans le vide de la machine pneumatique. L'eau bout facilement à la température de 30d ; et si l'on absorbe, à mesure, la vapeur qui se forme, le liquide restant se trouvera bientôt à peu de degrés au-dessus de zéro et continuera à bouillir.

Lorsque, au contraire, l'on augmente la pression à la surface d'un liquide, il faut un plus haut degré de température pour produire l'ébullition ; c'est ce qui arrive dans la *marmite de Papin* ou vase de métal à parois très-épaisses, muni d'un couvercle qui ferme exactement, et qui est maintenu par une vis de pression. Lorsqu'un liquide, enfermé dans ce vase, est exposé au feu, il se forme d'abord une certaine quantité de vapeur ; mais cette vapeur, acquérant bientôt une force élastique considérable, exerce une forte pression à la surface du liquide, et lui permet de s'échauffer considérablement. On se sert de cette machine pour extraire la gélatine enfermée dans les os et en faire du bouillon.

(524) *Lorsqu'un liquide commence à bouillir, sa température n'augmente plus en aucune manière ;* ainsi, l'eau bout à la température de 100d ; et il est impossible de lui faire prendre, sous la pression ordinaire de l'atmos-

phère, une température plus élevée : un thermomètre, placé dans le liquide, reste alors stationnaire; ce qui indique bien que tout le calorique est absorbé par la vapeur. D'un autre côté, on peut se convaincre que la vapeur ne se trouve aussi qu'à 100^d ; donc, dans cette opération, le calorique a perdu sa propriété d'élever la température du corps. On peut faire des remarques semblables sur les autres liquides.

(525) *Quantité de calorique combiné dans le passage d'un liquide à l'état de vapeur.* — La quantité de calorique que la vapeur absorbe en se formant au moment de l'ébullition, est plus ou moins considérable sans doute, suivant les divers liquides ; mais, à cet égard, on n'a guère d'expérience que sur l'eau. On peut calculer cette quantité de calorique de diverses manières ; c'est ce que fit le docteur Black, lorsqu'il établit sa théorie du calorique latent (*). Suivant MM. Clément et Desormes, l'eau, en s'évaporant à la température de 100^d, absorbe une quantité de calorique, égale à plus de 5 fois et demie ce qu'il en faut pour l'élever de 0^d à 100^d.

Dans le cas où on chauffe de l'eau dans la marmite de Papin, si, à l'instant où le liquide se trouve élevé à une très-haute température, on présente une issue à la vapeur, elle sort tout de suite en grande abondance, et à l'instant, le liquide qui reste au fond du vase, est ramené à la température de 100^d.

(526) *Du froid produit par la conversion des liquides en fluides aériformes.* — D'après tout ce que nous venons de dire, toutes les fois qu'un liquide passe à l'état de fluide aériforme, il absorbe du calorique et en prend né-

(*) Nous observerons que, par cette expression, le docteur Black admet réellement la combinaison du calorique avec les corps, comme il le dit expressément dans plusieurs endroits de ses ouvrages.

cessairement à tout ce qui l'environne ; par conséquent, il doit y avoir production de froid pour les corps en contact.

En enduisant la boule d'un thermomètre, d'une couche de liquide facilement évaporable, surtout d'éther, on voit bientôt la liqueur descendre considérablement vers zéro, parce que le liquide, en s'évaporant, enlève du calorique à la boule avec laquelle il est en contact. C'est par une raison semblable qu'on éprouve un degré de froid assez fort, lorsqu'on verse sur sa main quelques gouttes d'éther ou d'alcool ; c'est aussi l'évaporation de la petite couche d'eau qui reste sur le corps, lorsqu'on sort du bain, qui fait éprouver un instant après une sensation de froid que tout le monde a pu remarquer.

Des vases dont on se sert pour rafraîchir l'eau. — Si, à la surface d'un vase rempli d'un liquide quelconque, on renouvelle continuellement une petite couche d'humidité, son évaporation enlevera successivement du calorique au vase et rafraîchira la liqueur. C'est sur ce principe qu'est fondé l'usage des vases dont se servent les Espagnols et divers peuples des pays chauds, pour rafraîchir l'eau. Ces vases, qu'on nomme en Espagne *alcarazas*, sont d'un tissu assez poreux pour permettre à l'eau de suinter au travers et de former continuellement à sa surface une petite couche d'humidité qui, en s'évaporant, enlève du calorique au vase et au liquide qu'il renferme. M. Fourmy a fabriqué de ces vases en France et leur a donné le nom d'*hydrocérames* (sue-eau). Certains pots à bouquet peuvent produire le même effet.

En enveloppant une petite bouteille remplie d'eau d'un linge imbibé d'éther, le froid qui se produit est assez fort pour faire passer le liquide à l'état de glace.

Formation de la grêle. — L'évaporation qui se fait à la surface d'un liquide, le refroidit très-sensiblement. C'est pourquoi dans les chaleurs de l'été, les eaux des ruisseaux un peu profonds, sont toujours assez fraîches.

C'est par ce moyen, qu'on explique la formation de la grêle. Ce météore, dit-on, ne se forme que pendant les saisons chaudes, et lorsque les nuages sont très-élevés; dès lors, les gouttes d'eau, en tombant de si haut, éprouvent à leur surface une évaporation assez long-temps continuée pour perdre tout leur calorique et passer à l'état de glace. Il se forme ainsi un noyau solide, qui congèle ensuite successivement les molécules d'eau qu'il rencontre sur son passage; c'est pourquoi les grêlons sont formés de couches concentriques. Il faut avouer que cette explication laisse souvent beaucoup à desirer.

(527) *Expérience de Leslie pour la congélation de l'eau.* — C'est aussi le froid produit dans un liquide par l'évaporation qui a lieu à sa surface, qui a fourni à M. Leslie, d'Edimbourg, l'idée de produire la congélation de l'eau dans une atmosphère dont la température est beaucoup au-dessus de celle où la glace se forme naturellement. Pour produire cet effet, on place sous le récipient de la machine pneumatique, deux vases, l'un rempli d'eau, l'autre rempli d'une substance très-avide d'eau (d'acide sulfurique concentré). On raréfie ensuite l'air dans le récipient; lorsqu'on réduit la pression à environ 7 millim. de mercure, on peut fermer la communication avec le corps de pompe et laisser les choses en cet état; peu de temps après l'eau se congèle.

Dans cette expérience, la coupe qui renferme l'eau, donne d'abord de la vapeur qui remplit le récipient; mais cette vapeur est bientôt absorbée par l'acide; de sorte qu'il se forme un nouveau vide qui est aussitôt rempli d'une nouvelle quantité de vapeur, et ainsi de suite. Or, cette évaporation forcée fait perdre, à chaque instant, à l'eau une partie de son calorique, et la fait enfin passer à l'état de glace.

Si, après la formation de la glace, on laisse encore aller l'expérience, on reconnaîtra que la glace finit par disparaître aussi, ce qui est une preuve de son évapora-

tion ; on reconnaît même par une expérience semblable, que la glace s'évapore encore à la température de 40^d au-dessous de zéro. Ce qui est une chose fort remarquable.

ARTICLE IV.

Retour des fluides aériformes à l'état liquide ou solide.

(528) *Dégagement de chaleur dans le passage d'un fluide aériforme à l'état liquide ou solide.* — Lorsque la température d'un fluide aériforme est abaissée suffisamment pour que l'attraction des molécules du liquide qui lui sert de base devienne prépondérante, ce fluide repasse à l'état liquide, et le calorique est mis à nu. Si on fait passer de la vapeur à 100^d dans de l'eau à 0^d, cette vapeur se condense et le liquide s'échauffe promptement jusqu'à bouillir. Or, il résulte des expériences de MM. Clément et Désormes que la vapeur à 100^d a absorbé 5 fois et demie ce qu'il faudrait de calorique pour élever l'eau à 100^d ; donc si on fait passer 1 kilogr. de vapeur à 100^d dans 5 kilogr. et demi d'eau à 0^d, on obtiendra 6 kilogr. et demi de liquide à 100^d. C'est un moyen assez simple d'échauffer l'eau d'un bain : Edouard Adam l'a appliqué à la distillation des vins, qu'il a considérablement perfectionnée ; son ingénieux appareil est employé avec succès dans plusieurs endroits du midi de la France. Rumford a proposé, à-peu-près dans le même temps, de se servir de la vapeur pour échauffer les atteliers ; sa méthode fut adoptée par plusieurs manufacturiers en France ; mais, en Angleterre, elle est même employée dans l'intérieur des maisons pour chauffer les vestibules et les escaliers.

Tous les corps gazeux ne sont que des combinaisons d'une base solide avec le calorique. Lorsqu'un gaz se dissout dans un liquide, le calorique, qui le maintenait à l'état aériforme, est mis en liberté : lorsqu'un gaz se com-

bine avec un corps solide, il se dégage de même une quantité énorme de calorique ; nous en avons un exemple journalier dans la combustion, qui est produite par la combinaison de l'oxigène de l'air avec le corps combustible. Dans ces circonstances, la base solide de l'oxigène, ayant avec le combustible plus d'affinité qu'avec le calorique, se combine et laisse ce fluide à l'état libre.

(529) *Des brouillards et des nuages.* — Lorsque la vapeur, répandue dans l'atmosphère, vient à subir une diminution de température, elle repasse à l'état liquide ; mais l'air, au milieu duquel ses particules sont logées, devient un obstacle à la réunion en une masse liquide ; de sorte qu'il se forme une multitude de petits globules d'eau extrêmement fins, séparés les uns des autres par une petite couche d'air. Cet amas de petits globules constitue les brouillards et les nuages qui flottent dans notre atmosphère, qui descendent ensuite et se déposent lentement à la surface de la terre, ou se résolvent en pluie. Saussure dit avoir observé que les petits globules d'eau sont creux ; aussi, a-t-il donné à leur assemblage, le nom de *vapeur vésiculeuse.*

Tout le monde sait que l'haleine des hommes et des animaux est visible pendant l'hiver ; il est facile de s'en rendre raison. L'air étant plus froid que la vapeur expirée, lui enlève du calorique et la sollicite à repasser à l'état liquide ; il se forme alors un nombre plus ou moins grand de ces petits globules aqueux dont l'assemblage produit le brouillard observé.

(530) *Humidité qui se dépose sur les corps froids placés dans une atmosphère chaude et chargée de vapeur.* — Lorsqu'un corps froid se trouve au milieu d'une atmosphère chaude, il s'établit, autour de lui, un équilibre de température ; mais alors la vapeur contenue dans l'air passe bientôt à l'état d'eau et se dépose sur le corps. On a continuellement sous les yeux des exemples frappans de ces phénomènes : lorsqu'on transporte une bouteille de la cave dans un endroit chaud, on sait qu'elle

se couvre bientôt d'humidité. On a dû remarquer la quantité d'eau qui se dépose sur une caraffe qui renferme de l'eau à la glace.

Dans l'hiver, les vitres d'une chambre dans laquelle on fait du feu sont couvertes d'eau intérieurement, parce que la vapeur qui se trouve dans la chambre, en passant auprès des vitres, y perd son calorique et se réduit en eau qui se dépose à leur surface. Cette eau, continuellement refroidie, se convertit souvent en glace, en suivant des lois d'affinité qui lui font prendre des formes particulières : telle est l'origine de ces ramifications qu'on voit sur les vitres le matin des jours froids.

L'humidité des murailles, à l'instant du dégel, s'explique aussi très facilement. Pendant tout le temps que le froid a duré, les murailles se sont refroidies, et lorsque le dégel arrive, elles n'ont pas eu le temps de reprendre du calorique ; elles en enlèvent alors à tous les corps environnans, et par conséquent à la vapeur qui se trouve dans l'atmosphère, et qui se dépose ensuite à leur surface.

L'humidité des forêts dans les pays chauds s'explique aussi d'après cette théorie : le soleil ne pénétrant pas sous cet ombrage, il y existe toujours une certaine fraîcheur : l'air des environs qui est chaud et chargé de vapeurs, venant à traverser la forêt, y perd de son calorique, et la vapeur se réduit en eau. C'est-là l'origine d'un grand nombre de sources, surtout dans les lieux élevés.

Des hygromètres (*)

(531) ***Principes de la construction des hygromètres.*** — L'air est toujours plus ou moins chargé de vapeurs, mais souvent cette vapeur y est invisible, comme cela arrive pendant les chaleurs de l'été ; elle n'est pas alors susceptible de mouiller les corps.

(*) L'expression hygromètre est dérivée de ὑγρος *humide* et de μετρον *mesure*.

Tous les corps sont plus ou moins susceptibles d'attirer l'humidité de l'atmosphère ; il y en a qui possèdent cette faculté à un tel point, qu'ils ne peuvent rester à l'état solide lorsqu'on les laisse exposés à l'air. On peut se servir de ces divers corps pour composer autant d'hygromètres ; on peut déterminer la quantité d'humidité en mesurant le poids que le corps acquiert, ou en mesurant les variations qu'il éprouve dans ses dimensions ; cette dernière méthode est préférable comme présentant plus de facilité et d'exactitude : on emploie à cet effet les cordes, les cheveux, etc.

L'eau qui se trouve dans un corps est sollicitée par deux forces opposées ; l'affinité du corps pour elle qui en retient les molécules, et l'affinité du calorique qui tend à la réduire en vapeur. Tant qu'il y a équilibre entre ces deux forces, le corps conserve l'humidité qu'il a acquise ; si la chaleur augmente, il perd une portion de son humidité ; mais en même temps il acquiert plus de force pour retenir l'autre portion, de sorte qu'il s'établit encore un équilibre. Si, au contraire, la chaleur diminue, l'affinité du corps devient prépondérante dans la même proportion, et il s'empare d'une nouvelle portion d'humidité : c'est par cette sorte de mécanisme que les hygromètres peuvent marquer les variations de l'humidité de l'air.

(532) *Diverses espèces d'hygromètres.* — Il existe un grand nombre d'hygromètres ; les petits capucins, ou autres figures, qui marquent la pluie et le beau temps (quoique ces indications ne soient pas toujours exactes), sont des hygromètres dont la pièce principale est une corde à boyau qui se tord ou se détord, suivant le plus ou moins d'humidité de l'air, et fait ainsi mouvoir le capuchon ou le bras pour marquer les divers degrés ; mais ces instrumens n'ont pas une marche régulière, et ne conservent pas long-temps leur propriété hygroscopique.

Au lieu de disposer le bout de corde à boyau horizontalement, comme dans les figures que nous venons de citer, on l'a disposé pendant long-temps verticalement. On

adaptait alors, à la partie inférieure, une aiguille qui marquait les degrés sur un cercle horizontal à mesure que la corde se tordait ou se détordait ; ou bien, on suspendait à l'extrémité un petit plan circulaire sur lequel se trouvait, à deux points opposés, un petit homme avec un parapluie et une petite dame avec un éventail ; le tout était disposé dans une espèce de petite maison à deux portes. Le petit homme sortait dans les temps de pluie et la petite dame pendant les temps secs.

Au lieu d'employer la propriété des cordes de se tordre ou de se détordre, on peut employer leur faculté de varier de longueur ; il faut alors que la longueur de la corde dont on se sert soit assez considérable ; mais, pour que l'hygromètre tienne moins de place, on fait passer cette corde en zig-zag sur des poulies fixées sur une planche ou à la muraille. Un petit poids, ou une aiguille, placé à l'extrémité libre, marque les variations d'allongement. On avait fait sous une des portes du vieux Louvre, un hygromètre de cette espèce extrêmement simple : c'était une corde fixée par ses deux extrémités, et au milieu de laquelle était suspendu, par un fil de laiton, un poids destiné à servir d'index, par son abaissement ou son élévation, à mesure que la corde s'allongeait ou se raccourcissait.

On peut aussi se servir, pour ces sortes d'hygromètres, de plusieurs espèces de varec (plantes maritimes), dont les feuilles très-longues et fort étroites sont susceptibles de s'allonger plus ou moins, suivant le degré d'humidité. Il suffit de fixer une de ces feuilles par un point et de la tendre verticalement par un petit poids qui s'élève ou s'abaisse suivant les variations de l'humidité.

Les instrumens qui marquent l'humidité de l'air par l'augmentation de poids des substances dont ils sont composés, consistent en une balance ordinaire, dans l'un des bassins de laquelle est placée la substance hygrométrique, comme l'acide sulfurique, diverses espèces de sel, etc. On établit l'équilibre pendant la plus grande sécheresse, et on

dispose devant l'index de la balance une échelle qui marque les variations à mesure que le plateau trébuche plus ou moins.

(533) *Hygromètre de Saussure.* — L'hygromètre auquel les physiciens ont assez généralement donné la préférence, est celui de Saussure, que Deluc avait fait un peu auparavant avec un fil très-mince de baleine. Cet instrument est construit avec toutes les précautions convenables pour le rendre comparable ; ce qui est en lui une qualité aussi essentielle que dans un thermomètre. Sa pièce principale est un cheveu dégraissé par l'ébullition dans l'eau qui renferme un centième de sulfate de soude (*sel de Glauber*).

Une des extrémités du cheveu est attachée à un point fixe *a*, *fig.* 173, et tendu en *o* par un petit contre-poids; l'aiguille *b* se ment vis-à-vis un cercle gradué *ii*, à mesure que le cheveu s'allonge ou se raccourcit. Saussure a pris, pour diviser l'échelle, deux points fixes, l'humidité extrême et la sècheresse extrême. Il déterminait le premier en plaçant l'hygromètre sous une cloche dont les parois étaient mouillées, et dont il renouvelait l'humidité jusqu'à ce que le cheveu cessât de se dilater. Pour avoir la sècheresse extrême, Saussure plaçait l'instrument sous une cloche bien sèche qui renfermait une plaque de tôle chauffée et couverte d'un sel propre à absorber l'humidité. Il divisa l'intervalle, entre ces deux termes, en 100 parties.

La marche de cet hygromètre, comme celle de tous les autres, est compliquée de la dilatation du cheveu par le calorique, lorsque la température augmente ; mais Saussure a construit une table de correction qui accompagne toujours l'instrument.

LIVRE SIXIÈME.

DE LA LUMIÈRE.

CETTE branche importante de la physique se partage ordinairement en trois parties. *L'optique*, qui traite de la lumière directe; la *dioptrique*, qui traite de la lumière qui traverse les corps transparens; et la *catoptrique*, qui traite de la lumière réfléchie à la surface des corps (*). Nous en traiterons aussi à-peu-près dans cet ordre, sans cependant nous y astreindre absolument.

Nous avons déjà annoncé, pages 368 et 371, les diverses hypothèses sur la production et la propagation de la lumière. Nous admettrons ici l'hypothèse de Newton, qui considère la lumière comme une émanation, de particules lumineuses du corps lumineux, parce que, comme nous l'avons dit page 375, elle rend raison de tous les phénomènes d'une manière assez satisfaisante. Il faut distinguer les corps lumineux, quelle que soit d'ailleurs la cause de ce phénomène, et les corps éclairés qui renvoient la lumière qu'ils ont reçue.

(*) L'expression optique est dérivée de ὄπτομαι *voir*; l'expression dioptrique est formée de ὄπτομαι *voir* et de διὰ *à travers*: enfin, l'expression catoptrique vient de ὄπτομαι *voir* et de κάτοπτρον *miroir*, parce que la lumière se réfléchit à la surface des corps polis comme sur un miroir.

CHAPITRE PREMIER.

De la lumière directe, ou de l'optique.

(534) *Propagation de la lumière en ligne droite, et en rayons divergens.* — D'après l'hypothèse de Newton, un corps lumineux est un centre d'où partent une infinité de rayons divergens, qui se portent de tous côtés dans l'espace. L'expérience par laquelle on peut démontrer que ces rayons se propagent en ligne droite, est extrêmement facile à faire, et nous est très-familière. En effet, tout le monde a certainement observé qu'il est impossible d'apercevoir un corps lumineux lorsque, sur la ligne droite qui passe par notre œil et par ce corps, il se trouve un corps opaque qui intercepte les rayons lumineux.

Il est aussi très-facile de reconnaître que les rayons lumineux sont divergens. En effet, si, après avoir percé une feuille de carton, d'un trou circulaire de quelques millimètres de diamètre, on la présente au soleil, on verra qu'il se porte derrière elle un faisceau de lumière. Si on coupe ce faisceau par un plan placé successivement de différentes manières, on obtiendra des images lumineuses, circulaires ou elliptiques, etc., dont les grandeurs iront successivement en augmentant, à mesure que le plan d'intersection se trouvera plus éloigné du trou. Ces observations prouvent que le faisceau de lumière est un cône dont le sommet est vers le trou, et par conséquent que les rayons lumineux sont divergens.

Si on perce, dans une carte, quelques petits trous d'épingle, à peu de distance l'un de l'autre, et qu'on la présente au soleil, on obtiendra, sur un plan situé très-

près derrière, autant d'images distinctes qu'il y aura de trous; mais à mesure qu'on éloignera le plan, on verra les images s'aggrandir, empiéter les unes sur les autres, et finir bientôt par se confondre en une seule image à-peu-près circulaire.

Si la carte est percée d'un trou d'une figure quelconque, de figure triangulaire, par exemple, l'image lumineuse, qui se formera sur un plan situé très-près derrière, sera aussi triangulaire ; mais sur un plan éloigné, l'image sera exactement circulaire. On conçoit que la pyramide de lumière, qui s'élance derrière la carte, est composée de petits faisceaux coniques; or, sur un plan situé très-près, ces faisceaux vont former de très-petits cercles qui dessinent assez nettement la figure du trou ; mais sur un plan éloigné, ces cercles sont très-grands : ils empiètent les uns sur les autres, et déterminent une image de figure circulaire.

On expliquera de la même manière pourquoi, sous une avenue de grands arbres éclairés par le soleil, on aperçoit, sur la terre, des cercles lumineux qui correspondent aux endroits du feuillage par où la lumière du soleil a pu pénétrer.

(535) *Renversement des images qui se peignent derrière un plan opaque, percé d'un trou.* — Lorsque le soleil n'est pas placé de manière à ce que ses rayons puissent passer par le trou de la carte, ou, si l'on veut, par un trou percé au volet d'une chambre tenue obscure, tous les objets environnans dont la lumière, dans l'expérience précédente, n'était pas sentie, à cause de la vivacité beaucoup plus forte de celle du soleil, iront se peindre renversés sur le plan placé derrière, et y formeront des ombres légères, munies de leurs couleurs naturelles. La figure 174 montre la raison du renversement ; car, de chaque point du corps *ab*, il part des rayons qui se propagent en ligne droite; ainsi, le point *b* va se peindre en *b'*, et le point *a* en *a'*. La grandeur de l'image dépend de

la distance à laquelle se trouve l'objet, comparativement à celle où se trouve le plan de réflexion derrière le volet. Si la distance *cd* du plan de réflexion au volet, est égale à la distance *de*, la surface de l'image sera égale à celle de l'objet, parce que les deux cônes lumineux opposés au sommet seront égaux ; mais si la distance *cd* est seulement la moitié, le tiers, le quart, etc., de celle *de*, la surface de l'image ne sera que $\frac{1}{4}$, $\frac{1}{9}$, $\frac{1}{16}$, etc., de celle de l'objet.

On fait quelquefois une expérience qu'il est facile d'expliquer, d'après ce qui précède. On prend une épingle, qu'on place très-près de son œil, et on dispose une carte percée d'un petit trou par dessus. En regardant ensuite au jour par ce petit trou, on voit derrière la carte, et très-près d'elle, une image renversée de l'épingle. Dans ce cas, la couche d'air située derrière la carte, fait l'office du plan placé derrière le volet dans l'expérience précédente, et on voit l'image de l'épingle, de même qu'on verrait l'image du corps *a b*, *fig.* 174, si on pouvait regarder par le trou sans intercepter la lumière. Ici, la lumière que réfléchit l'épingle ne peut être interceptée par l'observateur ; et de plus, l'objet direct est trop près de son œil, pour qu'il puisse le voir.

(536) *Vitesse avec laquelle la lumière se propage.* — La vitesse de la lumière est excessivement grande : on l'avait d'abord crue instantanée, parce qu'à la surface de la terre, les espaces que la lumière peut parcourir sont beaucoup trop petits pour que le temps, qui s'écoule entre le moment de l'émission et celui où nous la recevons, soit sensible. Rœmer, par l'observation des éclipses des satellites de Jupiter, a prouvé, le premier, que la lumière emploie environ 8 minutes pour parvenir du soleil jusqu'à nous, c'est-à-dire, pour parcourir un espace de plus de vingt-sept millions de lieues, ce qui fait cinquante-sept mille lieues par secondes ; vitesse dont on ne se fait pas d'idée.

Il suit, de cette observation, que nous ne voyons jamais rien, dans le ciel, qui soit à sa vraie place. En effet, nous jugeons le corps lumineux sur la direction du rayon lumineux que nous en recevons : or, depuis le moment où un rayon lumineux part d'une étoile, dont la distance à la terre est infiniment plus grande que celle du soleil, jusqu'au moment où il nous arrive, la terre a tourné sur son axe, et nous avons par conséquent changé de situation, par rapport à l'objet lumineux ; de sorte qu'il n'est plus sur la direction du rayon que nous en recevons. L'étude de ces circonstances est importante en astronomie, et elle constitue la théorie de *l'aberration de lumière.*

(537) *Loi du décroissement de l'intensité de la lumière sur un corps, à mesure que le centre de lumière est plus éloigné.* — Lorsque la lumière tombe sur un plan, le degré de clarté qu'elle y produit est plus ou moins grand, suivant que le corps lumineux est plus ou moins près. Ce degré de clarté est en raison inverse du carré de la distance au corps lumineux, en faisant toutefois abstraction de l'influence du milieu. En effet, la lumière s'échappe du corps lumineux en rayons divergens : considérons donc un petit cône de lumière, et concevons ce cône coupé par un plan perpendiculaire à son axe. En faisant mouvoir ce plan parallèlement à lui-même, du sommet du cône à sa base, il interceptera des cercles dont les surfaces croîtront comme les carrés des distances au sommet. (*Géométrie*). Or, le degré de clarté, que le même nombre de rayons répand sur des plans différens en surface, est évidemment en raison inverse des surfaces éclairées, et par conséquent, en raison inverse des carrés des distances au corps lumineux. Ainsi, à une distance 1, la clarté sera 1 ; à une distance 2, elle sera ; à $\frac{1}{4}$ une distance 3, elle sera $\frac{1}{9}$, etc.

(538) *Intensité constante que conserverait pour nous le corps lumineux, s'il était vu à travers le vide.* — Lorsque nous regardons un corps lumineux, son image

vient se peindre dans notre œil, comme nous le verrons chap. 3. La surface de cette image dépend de la distance à laquelle nous nous trouvons du corps. Si nous sommes d'abord à une distance 1, et que nous nous reculions ensuite à une distance 2, 3, etc., les surfaces des images successives seront, 1, $\frac{1}{4}$, $\frac{1}{9}$, etc. (537). D'après cela, en faisant abstraction des milieux que traverse la lumière, à quelque distance que nous nous trouvions d'un corps lumineux, nous devons lui trouver constamment le même éclat; car si, en vertu de la divergence des rayons, nous ne recevons, à une distance 2 ou 3 ou 4, que $\frac{1}{4}$, $\frac{1}{9}$ de la lumière qui nous est envoyée à la distance 1, la surface de l'image n'est aussi que $\frac{1}{4}$, $\frac{1}{9}$ de ce qu'elle était alors; par conséquent, à toutes les distances, elle doit être également éclairée.

En faisant abstraction du milieu que la lumière traverse pour parvenir jusqu'à nous, les objets ne pourraient cesser d'être visibles que parce que les images deviendraient si petites, à une très-grande distance, qu'elles ne pourraient faire, sur l'organe de la vue, aucune impression sensible.

(539) *Diminution d'intensité du corps lumineux, quand sa lumière traverse des milieux diaphanes.* — L'expérience nous apprend que la lumière se propage à travers divers corps que, pour cela, on nomme *corps transparens*; ainsi, la lumière traverse habituellement l'air avant de parvenir jusqu'à nous: on sait qu'elle traverse l'eau, le verre, et beaucoup d'autres substances; mais, dans ce trajet, elle perd à chaque instant une partie de son intensité, plus ou moins grande, suivant la nature du corps; de sorte qu'on peut dire que les différens corps sont plus ou moins conducteurs de la lumière. Plus la lumière lancée par le corps lumineux est vive, plus loin elle s'étend dans la masse de ces corps,

On démontre, par des considérations mathématiques, que, dans un corps homogène, les distances croissant en

progression arithmétique, l'intensité de la lumière décroît en progression geométrique.

Tout le monde sait qu'un corps, vu dans l'atmosphère, nous paraît d'un éclat d'autant moins vif, qu'il est plus éloigné, parce que la lumière qu'il nous envoie, est obligée de traverser une plus grande masse d'air. On peut observer, tous les jours, que les astres, à leur lever, paraissent moins brillans que lorsqu'ils sont un peu élevés au-dessus de l'horizon; c'est ce qui est très-sensible à l'égard du soleil et de la lune. On conçoit que, l'astre étant très-près de l'horizon, la lumière qu'il nous envoie traverse obliquement notre atmosphère, et, par conséquent, est obligé de pénétrer une plus grande masse d'air, et aussi la partie la plus dense. Lorsqu'il se trouve, au contraire, verticalement au-dessus de nous, la masse d'air que la lumière traverse est moins grande, et de plus, la densité de ce milieu va successivement en diminuant, depuis la surface de la terre jusqu'aux régions les plus élevées.

Dans le verre, dans l'eau, la lumière perd beaucoup plus de son intensité que dans l'air; il n'en faut pas même une énorme épaisseur pour qu'un corps lumineux, comme une bougie, cesse d'être visible à travers. Il y a des corps qui diminuent l'intensité d'une manière encore plus rapide, en sorte que quelquefois, à l'épaisseur d'une simple feuille de papier, il passe à peine quelques rayons. Ces corps sortent de la liste des matières transparentes.

On nomme *translucide* les corps qui laissent passer quelques rayons lumineux, et *opaques* ceux qui refusent absolument le passage; mais, tel corps qui paraît opaque à une faible lumière, peut manifester la translucidité à une lumière plus forte.

(540) *Aspect d'un corps lumineux vu à travers le brouillard.* — Lorsqu'il se trouve un amas de petits globules d'eau, comme du brouillard, entre notre œil et le corps lumineux, non-seulement ce corps nous paraît d'une lumière moins intense, on même nous est entièrement ca-

ché, comme cela a lieu à l'égard du soleil dans les temps très-brumeux ; mais encore, lorsque le brouillard n'est pas assez fort pour le cacher, il nous semble entouré d'une auréole lumineuse quelquefois colorée. C'est ce qu'on peut voir en regardant une bougie allumée, à travers le nuage de vapeur qui se forme au-dessus d'un vase rempli d'eau bouillante : cet effet est dû aux réfractions que subissent les rayons lumineux en traversant les petits globules d'eau.

On croit que c'est par une circonstance semblable, qu'est produit le phénomène qui a reçu le nom de *couronne*, et qui consiste en une auréole lumineuse qu'on aperçoit dans certains temps autour du soleil, et particulièrement de la lune. Beaucoup de cultivateurs prédisent la pluie, et cela arrive très-souvent, lorsqu'ils voient cette couronne autour de la lune.

(541) *Figure de l'ombre produite par un corps opaque.* — Lorsqu'un corps opaque vient à intercepter la lumière qui se propage dans l'espace, il se forme derrière lui une ombre, qui est d'autant plus forte que la lumière est plus vive. Si le corps opaque est éclairé à-la-fois par plusieurs lumières placées différemment, il se forme autant d'ombres différentes.

Si le corps lumineux est plus gros que le corps opaque qui intercepte ses rayons, l'ombre est une pyramide qui a le corps pour base, et dont la hauteur dépend de la distance à laquelle se trouve le corps lumineux. Si le corps lumineux est égal en grosseur au corps opaque, l'ombre est un cylindre infini. Enfin, si le corps lumineux est plus petit que le corps opaque, l'ombre est une pyramide tronquée, dont la grande base est à une distance infinie.

L'ombre d'un corps sur un plan, est toujours terminée par une *pénombre* dont l'intensité va en diminuant, en partant de l'ombre vraie. Soit L, *fig.* 175, le soleil ou le corps lumineux quelconque, et soit AB un corps opaque : l'ombre vraie sera déterminée, sur le plan MN, par la tan-

gente CAF ; les parties d'ombres, comprises entre F et I, seront successivement éclairées par des portions plus grandes du disque solaire, et la pénombre sera terminée en I par la seconde tangente EAI.

On regarde ordinairement les ombres des corps comme noires ; mais en examinant avec attention les ombres produites par le soleil, à différentes heures du jour, celles qui sont produites par les différentes lumières, etc., on verra qu'elles sont verdâtres, bleuâtres, violettes, rougeâtres, plus ou moins salies de noir.

(542) *Figure de la partie éclairée d'un corps opaque.* — La figure de la partie éclairée d'un corps opaque, lorsque le point lumineux est fixe, ne dépend que de la position de ce point, et de celle de l'observateur. Soit L, *fig.* 176, le point lumineux ; soit o la position constante de l'observateur : une sphère opaque, placée en A, ne sera pas éclairée ; en B, la partie de cette sphère qui sera éclairée, aura la forme d'un croissant ; en C, elle aura la forme d'un demi-cercle ; en D, elle approchera d'être un cercle ; en E, elle sera un cercle complet. Les phénomènes se répèteront en sens inverse, en allant de E vers A. La partie éclairée visible du point o, est déterminée par les tangentes menées à la petite sphère par les points L et o. Ainsi, *ab* est la partie éclairée visible de la boule D.

Ces développemens expliquent complètement les phases de la lune : le soleil est le corps lumineux, et la terre est le point où se trouve placé l'observateur.

(543) *Attraction et répulsion que la lumière éprouve de la part des corps.* — Si on présente un corps opaque devant un carton éclairé par le soleil, ou par une lumière un peu vive, on verra autour de la pénombre de ce corps une auréole lumineuse très-brillante. Si on suspend au milieu d'une fenêtre, sur laquelle donne le soleil, une boule de bois noircie à la fumée d'une lampe, et qu'on présente ensuite un carton blanc à quelque distance derrière cette boule, on aura une ombre circulaire d'une certaine inten-

sité et d'une certaine grandeur, entourée d'une pénombre et d'un cercle très-lumineux.

A mesure qu'on éloigne le plan de carton, le cercle lumineux extérieur augmente de diamètre; mais il diminue d'éclat : le milieu de l'ombre s'éclaircit et il reste autour un anneau d'ombre très-foncé, dont le diamètre convient parfaitement à la distance du carton à la boule, et dont l'intensité est toujours la même, quelle que soit cette distance. Nous devons cette manière de faire l'expérience à M. Flaugergues, astronome aussi distingué que modeste qui habite à Viviers (*Ardèche.*) Avant la publication de son Mémoire, on faisait généralement l'expérience, en laissant passer un faisceau de lumière auprès d'un tranchant d'acier; moyen tout-à-fait ridicule et bien peu propre à donner une idée du phénomène.

En regardant la boule suspendue à la fenêtre, on la voit aussi environnée d'une auréole lumineuse.

Les effets que nous venons de décrire conduisent à ces conclusions, que lorsque la lumière passe près d'un corps,

1.° Les filets les plus voisins de ce corps, comme *a b*, *dc*, *fig.* 177, éprouvent une attraction qui leur fait prendre les directions *b e*, *c f*, pour aller éclairer l'ombre sur le plan AB.

2.° Les filets qui sont un peu plus loin, passent sans éprouver ni attraction, ni répulsion; ce sont eux qui forment l'anneau d'ombre.

3.° Les filets qui viennent ensuite, tels que *i k*, *m n*, éprouvent une répulsion et prennent les directions *k l*, *n o*. Ils vont alors se réunir en *l* et *o* avec les rayons directs, pour former l'auréole lumineuse.

L'expérience réussit de même, quel que soit le fluide ambiant, quelle que soit la nature du corps dont on se sert, et quelle que soit sa température.

CHAPITRE II.

Des phénomènes de la réfraction de la lumière, ou de la dioptrique.

ARTICLE PREMIER.

Considérations et définitions générales.

(544) *Loi fondamentale de la réfraction de la lumière.* — Nous avons vu, n.° 385, qu'un mobile qui passe d'un certain milieu dans un autre plus dense, subit une réfraction, en vertu de laquelle il s'écarte de la perpendiculaire au point d'immersion : il se présente un phénomène à-peu-près semblable dans le passage de la lumière d'un certain milieu diaphane dans un autre ; à cela près, qu'à l'égard du mobile n.° 385, le milieu le plus dense l'écarte de sa direction, en vertu de la résistance qu'il lui oppose, et qu'à l'égard de la lumière, le milieu le plus réfringent semble exercer sur le rayon lumineux, une sorte d'attraction, en vertu de laquelle il le rapproche de la perpendiculaire au point d'immersion.

Lorsqu'un rayon lumineux tombe perpendiculairement à la surface d'un milieu diaphane, différent de celui qu'il vient de traverser, il continue sa route sans éprouver aucune déviation ; mais, lorsqu'il passe obliquement d'un milieu dans un autre, il subit une *réfraction*, en vertu de laquelle il se rapproche ou s'écarte de la perpendiculaire élevé au point d'immersion.

Soient, *fig.* 178, deux petites planchettes AB, BC, dressées à angle droit l'une sur l'autre. Si on dirige un

rayon de lumière par le point A, on obtiendra, par exemple, l'ombre en D : si on place ensuite une petite cage de verre remplie d'eau entre ces planches, on observera que l'ombre ne se porte plus que jusqu'en F ; d'où il faut conclure que les rayons lumineux se sont brisés en traversant de l'air dans l'eau, et se sont rapprochés de la perpendiculaire élevée au point E ; c'est-là la différence que nous avons annoncée tout-à-l'heure entre la réfraction de la lumière et celle d'un mobile lancé dans l'eau.

Ayant élevé une perpendiculaire au point E, AEG sera l'angle d'incidence, et FEH l'angle de réfraction. On connaîtra l'angle d'incidence BAD, égal à AEG, en mesurant le côté AB et l'ombre BD et faisant ensuite le calcul. Pour connaître l'angle de réfraction, on déterminera la ligne HF ; pour cela, on mesurera HE, hauteur du cube, et BF ombre réfractée ; on calculera HD au moyen du triangle rectangle HED dont on connaît l'angle D, et on tirera la valeur $BH = BD - HD$; or, on aura $HF = BF - BH$; on aura donc tout ce qui est nécessaire pour calculer l'angle de réfraction HEF. On trouvera dans le cas présent, que le sinus d'incidence est au sinus de réfraction dans le rapport de 4 à 3, c'est-à-dire, le sinus $ab = 4$ et le sinus $cd = 3$.

Il existe un rapport constant entre le sinus de réfraction et le sinus d'incidence, quelle que soit l'obliquité du rayon incident, lorsque le milieu que la lumière quitte et celui où elle entre, restent les mêmes. Dans le passage de l'air dans l'eau, ce rapport est celui de 4 à 3 ; de l'air dans le verre, il est de 3 à 2 ; du verre dans l'eau de 9 à 8, etc. Les mêmes rapports ont lieu en sens inverse, lorsque la lumière passe de l'eau dans l'air, du verre dans l'air, de l'eau dans le verre, etc.

On doit tirer, de ce qui précède, les principes fondamentaux suivans :

1.° *Que le rayon lumineux qui passe obliquement d'un milieu dans un autre plus réfringent, se réfracte*

en se rapprochant de la perpendiculaire au point d'immersion.

2.° *Que le rayon de lumière qui passe obliquement d'un milieu dans un autre moins réfringent, se réfracte en s'éloignant de la perpendiculaire.*

(545) *Variations du pouvoir réfringent dans les différens corps.* — Les corps varient beaucoup relativement à leur faculté de réfracter la lumière. En général, les corps les plus denses la réfractent plus fortement que les corps plus rares : cependant le pouvoir réfringent dépend aussi de la nature chimique du corps ; car, par exemple, l'esprit-de-vin, l'huile, etc., quoique moins denses que l'eau, ont un pouvoir réfringent plus fort ; en général, les corps combustibles ont une grande puissance réfractive ; c'est d'après cette observation et d'après la grande puissance réfractive du diamant et de l'eau, que Newton avait soupçonné que ces deux corps renfermaient une substance combustible ; ce qui a été vérifié depuis par les chimistes.

MM. Biot et Arago ont trouvé, par un grand nombre d'expériences, que le pouvoir réfringent d'un corps composé est formé à-peu-près des pouvoirs réfringens des composans, dans le rapport de leurs quantités ; en sorte qu'on peut calculer d'avance le pouvoir réfringent d'une composition donnée, et déduire aussi quelques notions sur la nature et la proportion des parties constituantes des corps, dont la composition nous est peu connue.

(546) *Limites de la réfraction ; réfraction des corps opaques.* — Toutes les fois qu'un rayon de lumière passe d'un milieu plus réfringent dans un autre qui l'est moins, l'angle de réfraction augmente en même temps que l'angle d'incidence, mais de manière à être toujours plus grand : or, il doit nécessairement arriver un moment où l'angle de réfraction a atteint 90 ^{d} ; alors, l'angle d'incidence est d'une certaine grandeur *a*, moindre que 90 ^{d}, et le rayon réfracté est parallèle à la surface de séparation des deux milieux. Tous les rayons qui feront l'angle d'incidence

compris entre a et 90^d, ne pourront plus traverser le milieu le moins réfringent, et seront réfléchis à la surface de séparation, comme à la surface d'un miroir; c'est une circonstance analogue, quoique différente, à celle que nous avons fait remarquer sous le n.° 385.

La limite a varie suivant la différence des pouvoirs réfringens des deux milieux; en sorte que si le pouvoir réfringent d'un milieu est connu, celui d'un milieu quelconque, moins réfringent, pourra être déterminé, en cherchant par expérience l'angle a au-dedans duquel la lumière est réfléchie : c'est le principe de la méthode ingénieuse que M. Wollaston a employée pour déterminer le pouvoir réfringent de différens corps. Cette méthode s'applique même à la détermination des pouvoirs réfringens des corps opaques; mais, à cet égard, Malus a observé que l'analyse fournissait deux formules particulières, l'une pour les corps diaphanes, l'autre pour les corps opaques; de sorte que, relativement à ces derniers, les pouvoirs réfringens donnés par le savant physicien anglais, ne sont pas tout-à-fait exacts. Voyez le Mémoire de M. Wollaston, Annales de Chimie, tom. 46, et celui de Malus, Journal de l'Ecole Polytechnique, 15.e cahier.

ARTICLE II.

Effets de la réfraction lorsque la surface des deux milieux est plane. (*)

(547) *Définition des caustiques par réfraction.* — Le point lumineux A, *fig.* 179, placé dans l'eau ou dans un milieu quelconque, envoie différens rayons AB, AC,

(*) Dans les différens articles qui vont suivre, l'étude des figures est plus nécessaire même que les descriptions, pour se former une idée bien nette des phénomènes.

AD, AF, etc. ; le premier rayon AB, qui est perpendiculaire à la surface du corps réfringent, passe sans réfraction; mais les autres, qui sont obliques, sont réfractés en faisant l'angle de réfraction à l'angle d'incidence dans un rapport constant, celui de 3 à 4 pour l'eau et l'air, et prennent les directions CH, DI, FK, etc. : ces rayons divergent donc plus après la réfraction qu'avant ; car le rayon AF, par exemple, étant plus oblique que AD, s'écarte proportionnellement plus que lui de la perpendiculaire ; il en est de même pour un rayon situé plus près de AB, etc. Les rayons réfractés, prolongés par la pensée, vont se rencontrer dans le liquide en différens points, et par leurs intersections déterminent la ligne polygonale *abcd*..... ; or, comme les différens rayons partis du point A, sont infiniment voisins l'un de l'autre ; les côtés *ab*, *bc*, *cd*, etc., sont infiniment petits, et la ligne polygonale est une courbe continue dont il existe, dans la figure, une autre branche à la gauche de AB. On concevra facilement que le point lumineux A, envoyant des rayons divergens tout autour de lui, il doit se former, par les intersections des rayons réfractés, une surface courbe continue, dont la figure 179 ne peut représenter qu'une coupe transversale. Ces courbes se nomment *caustiques par réfraction* ; leur théorie est une des principales branches de l'optique analytique.

Pour se former, par expérience, une idée des caustiques par réfraction, qu'on prenne un gobelet rempli d'eau, qu'on le pose sur une table et qu'on place derrière, à une certaine distance, une petite bougie allumée ; on verra à l'instant se former en avant, des courbes lumineuses, comme celles dont nous parlons.

(548) *Image d'un objet lumineux placé dans un certain milieu pour un observateur placé dans un milieu moins réfringent.* —Un observateur, placé en O, par exemple, *fig.* 179, verrait le point A en P, à l'intersection de deux rayons extrêmement voisins, c'est-à-dire, au point de tangence de la caustique et de la droite OP menée par l'œil.

Un observateur placé tout autre part, verrait aussi le point A, au point de tangence de la caustique et de la droite menée par son œil.

Après avoir placé une pièce de monnaie dans un vase, *fig.* 180, qu'on s'éloigne jusqu'à ce que la paroi AB intercepte les rayons de la pièce; que quelqu'un verse alors de l'eau dans le vase, la pièce reparaîtra bientôt et le spectateur la verra comme s'il s'était rapproché. Cet effet est facile à concevoir; car, dans le cas où il n'y a pas d'eau, la pièce envoie des rayons de tous côtés; les uns AB sont interceptés par la paroi, les autres *a*CD, etc., sont perdus pour l'œil placé en *b* : mais quand il y a de l'eau dans le vase, le rayon *a*CD se réfracte et prend la direction C*b*; il se forme une caustique, et l'observateur voit alors la pièce *a* en *a'*, au point de tangence de la caustique et de la droite C*b*.

Si un corps est placé dans l'eau en ABC, *fig.* 181, l'œil, placé en S, le verra en A'C'B'. Pour déterminer la position de cette image, on construira les caustiques des différens points de l'objet (*) (*le sinus de réfraction* $ab = 4$, *et le sinus d'incidence* $cd = 3$); on menera ensuite par le point S, des tangentes à ces caustiques, et les points de tangence A', B', C', détermineront la position de l'image.

On doit conclure des expériences précédentes, qu'un des effets de la réfraction par une surface plane, est de nous tromper sur le véritable lieu d'un corps, en le rapprochant de nous, lorsqu'il est placé dans un milieu plus réfringent. Aussi un bassin rempli d'eau limpide paraît-il moins profond qu'il n'est réellement; il n'est personne qui n'ait été trompé sur la profondeur d'un ruisseau. C'est d'après cet

(*) Voyez la construction des caustiques par points. Petit, Correspondance de l'École Polythecnique, Juillet 1812.

effet de la réfraction ; qu'un bâton qu'on plonge dans l'eau, *fig.* 182, paraît être rompu, parce que le point *a*, situé hors de l'eau, est vu en son vrai lieu, tandis que le point *b* est élevé par l'effet de la réfraction.

L'objet porté par la réfraction en A'C'B', *fig.* 181, est plus petit que dans la réalité ; mais on trouve ici une illusion d'optique qui le fait paraître plus grand ; c'est parce que l'angle A'S B', sous lequel nous voyons le corps par réfraction, est plus grand que celui ASB sous lequel nous le verrions directement. On conçoit, en effet, que les rayons partis du point B pour se porter à l'œil, étant beaucoup plus obliques que ceux qui partent du point A, s'écartent plus qu'eux de la perpendiculaire, et par conséquent convergent sur eux après la réfraction. L'angle sous lequel on voit un corps, se nomme *angle optique* ou *angle visuel.*

(549) *Si le point lumineux est placé dans un milieu, et le spectateur dans un milieu plus réfringent*, l'effet de la réfraction sera d'élever le point lumineux au-dessus de l'endroit où il est réellement, et de l'éloigner ainsi de l'observateur. En effet, le rayon *ab*, *fig.* 183, qui se propagerait en *bc*, se rapproche, par l'effet de la réfraction, de la perpendiculaire, en prenant la direction *bs* ; les autres rayons se trouvent dans le même cas ; de sorte que deux rayons extrêmement voisins, divergent moins après la réfraction qu'avant, et qu'alors tous les rayons réfractés vont, après les réfractions, former une caustique au-dessus de *a* : un œil placé en *s* verrait donc le point *a* en *a'*, et un œil placé en *s'* le verrait en *a''*.

ARTICLE III.

Effet de la réfraction lorsque la surface de séparation des milieux est courbe.

(550) ***Manière de déterminer, dans ce cas, l'angle de réfraction.*** — Le point où le rayon lumineux rencon-

tre une surface courbe, peut être considéré comme un très-petit plan, faisant partie du plan tangent qu'on peut mener par ce point à la courbe. Le rayon lumineux réfracté fera, sur le plan, l'angle de réfraction à l'angle d'incidence dans le rapport des pouvoirs réfringens. Pour déterminer la route du rayon réfracté, on mènera donc une tangente à la courbe par le point d'incidence, puis une normale, et on agira ensuite comme sur une surface plane.

Il se présente dans cet article plusieurs cas à considérer, suivant la position du point lumineux. Supposons, pour plus de simplicité, que la surface réfringente soit une portion de sphère.

(A) *La surface du milieu le plus réfringent étant convexe.*

(551) *Le point lumineux étant dans le milieu le plus réfringent.* — Le point lumineux peut être assez éloigné pour que les rayons incidens puissent être regardés comme parallèles. (Le soleil est dans ce cas, à cause de son éloignement, de sa grosseur et de la petitesse de nos instrumens.) Supposons, dans ce cas, que le milieu le plus réfringent soit du verre, et que l'autre milieu soit de l'air; les rayons qui tombent en a, b, c, d, *fig.* 184, seront réfractés en faisant le sinus d'incidence au sinus de réfraction dans le rapport de 2 à 3; ainsi $hi = 2$, $fg = 3$; tous ces rayons détermineront dans l'air une caustique, dont le point de rebroussement F se nomme *foyer des rayons parallèles.*

Si le point lumineux se trouve à une distance finie, les rayons réfractés convergeront moins que dans le cas précédent; de sorte que le point de rebroussement de la caustique sera plus éloigné. A mesure que le point lumineux se rapprochera de la surface réfringente, les rayons

réfractés deviendront moins convergens ; enfin, si le point lumineux arrive vers le foyer des rayons parallèles qui viendraient de l'air, les branches de caustique commenceront à se séparer ; si le point lumineux se rapproche encore, les branches de caustique se porteront tout-à-fait sur les côtés, *fig.* 185 ; mais alors les rayons intermédiaires, devenus divergens, détermineront une caustique dans le milieu le plus réfringent au-delà du point lumineux.

Si le point lumineux se trouve au centre de la surface réfringente, aucun de ses rayons ne sera réfracté, parce que tous seront dirigés suivant des normales à la courbe.

Le point lumineux étant au-dessous du centre, il se formera encore une caustique dans le milieu le plus réfringent, mais en-deçà du point lumineux.

Expériences à ce sujet. — On peut prouver, par une expérience fort simple, une partie de ces résultats de l'analyse et des constructions graphiques ; il suffit de prendre un gobelet rempli d'eau, de le placer sur une table, et de disposer une petite bougie derrière. Lorsque cette bougie sera très-éloignée, on verra la caustique lumineuse très-courte ; mais elle s'allongera à mesure qu'on rapprochera la bougie ; on verra bientôt ses branches se séparer, et en avançant encore, on les verra se porter sur les côtés.

(552) *Le point lumineux étant dans le milieu le moins réfringent.* — Si le point lumineux se trouve infiniment éloigné de la surface de séparation des milieux, il se forme, dans le milieu le plus réfringent, une caustique dont le foyer sera celui des *rayons parallèles*.

Lorsque le point se trouve à une distance finie et très-éloignée, il se forme encore des caustiques dans la masse la plus réfringente ; mais les foyers sont plus éloignés que dans le cas précédent. A mesure que le point lumineux se rapprochera, le foyer s'éloignera. Si le point lumineux se trouve vers le foyer des rayons parallèles, qui émaneraient du milieu le plus réfringent, les caustiques se sépareront. Enfin, si le point lumineux se rapproche en-

core, il arrivera bientôt que les rayons réfractés viendront se couper dans le milieu le moins réfringent et y détermineront une caustique.

(553) *Image d'un corps vu par réfraction.* — Étant donnée la position d'un corps et celle d'un œil ; pour déterminer la position de ce corps vu par réfraction, on construira les caustiques de ses différens points.

Soit, *fig.* 186, *le corps* L L' *placé dans le milieu le plus réfringent*, on construira les caustiques (connaissant le rapport de réfringence des milieux). Si l'œil se trouve en *o*, on menera les tangentes *o l*, *o l'*, et on verra alors le corps en *l' l*, dans une position renversée ; on doit en sentir facilement la raison.

L'image est plus grande que l'objet, parce que cet objet étant très-près de la surface réfringente, les rayons LF, L'F' sont très-divergens. Si le corps était très-éloigné, l'image *l' l* serait plus petite que lui.

Si on présentait un plan en FF', on aurait sur ce plan, une image de l'objet, grossie dans le premier cas, rétrécie dans le second.

Si le corps LL' *se trouve dans le milieu le moins réfringent*, *fig.* 187, il se formera dans l'autre des caustiques dont les foyers seront en FF' ; un œil placé en *o* verrait cet objet en *ll'*, par conséquent diminué, et aussi, comme précédemment, à un endroit où il n'est pas. Si un plan opaque *mn* mettait un obstacle à ce que l'œil pût voir directement l'objet, il n'en verrait pas moins son image *ll'*, et le jugerait au-dessus de ce plan. C'est précisément ce qui arrive à l'égard du soleil et des astres à leur lever : le spectateur se trouve dans le milieu le plus dense ; ce milieu est terminé comme la terre par une surface courbe (pour plus de simplicité, nous supposerons ici que l'atmosphère est partout de même densité.), et lorsque les astres sont à quelques degrés au dessous de l'horizon, la réfraction nous les fait paraître au-dessus. Ainsi, *le matin, nous voyons le soleil avant*

qu'il soit sur l'horizon, et le soir, nous le voyons encore, quoiqu'il soit depuis quelque temps au-dessous. En général, l'effet de la réfraction est toujours d'élever un astre au-dessus de son vrai lieu, si ce n'est lorsqu'il est au-dessus de notre tête, et de le faire voir ainsi où il n'est pas. Il existe des tables de réfraction pour corriger ces erreurs d'observation.

Les objets terrestres vus de très-loin éprouvent aussi les effets de la réfraction ; ils nous paraissent alors plus élevés et plus rapprochés de nous. C'est aussi la réfraction qui nous fait paraître le soleil et la lune ovales à leur lever ; car elle tend à élever les bords supérieurs et inférieurs des disques : mais le bord inférieur est plus élevé que le supérieur, parce que ses rayons traversent une couche plus dense ; par conséquent, l'astre se trouve aplati dans le sens de son diamètre vertical.

La réfraction produit aussi le crépuscule ou cette lumière que nous recevons encore, quoique le soleil soit sous l'horizon ; elle force les rayons qui seraient perdus dans l'espace à se replier sur la terre ; plus la densité de l'air est considérable, plus la réfraction est forte et plus aussi le crépuscule est long : dans les pays froids, comme aux pôles, où il y a d'ailleurs des nuits de six mois, les crépuscules sont de plusieurs jours, ce qui diminue la durée de l'obscurité.

(B) *La surface du milieu le plus réfringent étant concave.*

(554) *Le point lumineux étant dans le milieu le plus réfringent.* — Quelle que soit la distance de ce point à la surface réfringente, les caustiques se formeront toujours dans le milieu le plus réfringent ; car, dans tous les cas, les rayons L*b*, L*d*, etc., partis d'un point L, *fig.* 188, seront réfractés en s'éloignant des normales *cb*, *cd*, etc. ; donc ces rayons convergeront dans le milieu d'où ils

sortent, et, par conséquent, y formeront, par leurs intersections, des caustiques au-dessus du point lumineux. L'effet de la surface concave sera donc toujours, dans ce cas, de rapprocher beaucoup les objets de l'observateur placé dans le milieu le moins réfringent. Ainsi, un œil placé en *o*, verrait le point L en *l* au-dessus de son vrai lieu.

(555) *Le point lumineux étant dans le milieu le moins réfringent.* — Il faudra alors distinguer plusieurs cas, 1.° Si le point lumineux L est au-dessus du centre de la surface réfringente, *fig.* 189, les rayons L*b*, L*d*, se rapprocheront des normales *cb*, *cd*, par l'effet de la réfraction, et convergeront moins que les rayons incidens; donc, ils formeront des caustiques au-dessus du point L dans le milieu le moins réfringent.

2.° Si le point lumineux L se trouve au-dessus du centre, *fig.* 190, les rayons L*b*, L*d*, se rapprocheront encore des normales *cb*, *cd*, etc., par l'effet de la réfraction; mais alors, d'après la position de ces normales, ils convergeront plus promptement que les rayons incidens; d'où il suit qu'ils formeront, dans le milieu le moins réfringent, des caustiques au-dessous du point lumineux. Ainsi, un œil placé en O dans le milieu le plus réfringent, verrait le point L en *l* au-dessous de son vrai lieu.

ARTICLE IV.

De la lumière qui traverse d'un milieu moins réfringent dans un plus réfrigent, et qui repasse ensuite dans le premier.

(556) *Le corps réfringent étant terminé par deux plans parallèles*, *fig.* 191, les rayons lumineux qui le traverseront, sortiront parallèlement à leurs premières directions. Si un œil se trouve en *o*, il verra le point *a* sur la direction *oa'*.

(557) *Le corps étant terminé par des plans inclinés*

entr'eux, *fig.* 192, le rayon *ab* sera réfracté suivant *b b*, en se rapprochant de la perpendiculaire au point d'immersion ; en sortant ensuite du milieu, il prendra la direction *b'o*. en s'éloignaut de la perpendiculaire au point *b'* : il en sera de même pour le rayon *ac*. Il résulte de là qu'un œil placé en *o*, verrait à-la-fois deux images de l'objet, l'une sur la direction *oa'*, l'autre sur celle *oa"* ; il ne verra l'objet en son vrai lieu, que quand il y aura en *s* une petite facette parallèle à AB, et, dans ce cas, il verrait trois fois le point lumineux : en général, un œil placé en *o*, voit autant de fois l'objet que le milieu réfringent a de faces tournées vers cet objet. Tout le monde connaît l'effet des verres taillés à facettes.

(558) *Si l'une des surfaces est convexe*, les rayons parallèles, qui tomberont sur la face plane, iront, après la réfraction, former une caustique dont le point de rebroussement sera le foyer des rayons parallèles. On trouve ce foyer en présentant le corps réfringent au soleil, dont les rayons peuvent être regardés comme parallèles ; ces rayons se réunissent derrière la lentille, et lorsqu'on présente un plan, on obtient dessus un petit cercle lumineux ; l'endroit où on obtient l'image la plus petite et la plus nette, est vers le foyer cherché.

De même, les rayons qui tomberont sur la surface convexe, formeront, au-delà de la face plane, une caustique et un foyer des rayons parallèles.

Si le point radieux est seulement très-loin de la surface, le point de rebroussement de la caustique sera plus éloigné que dans le cas des rayons parallèles. S'il se trouve un corps en *ab*; *fig.* 193, l'œil placé en *o* en verra une image renversée et amplifiée en *a' b'*; si l'objet est beaucoup plus loin, les foyers des caustiques seront plus près de la surface, et les images qu'on obtiendra seront, dans la plupart des cas, plus petites que l'objet.

Un œil placé en *o*, *fig.* 194, verrait une image de l'objet en *a' b'* ; un autre œil en *o'* verrait une image en

$a''b''$: de sorte qu'avec les deux yeux, on pourra voir deux images d'un même objet; mais on pourra cependant trouver une position où ces deux images soient l'une derrière l'autre, et de manière à ce qu'elles se confondent en une seule; c'est ce qui arriverait aux deux images $a'''b'''$, $a''''b''''$. On peut faire ces expériences avec un verre convexe placé à une certaine distance vis-à-vis une bougie allumée.

On pourra aussi recevoir sur un plan une image très-nette de l'objet, en plaçant ce plan aux foyers des caustiques, *fig.* 193 et 194; en le plaçant partout ailleurs, en avant ou en arrière, on n'obtiendra que des images confuses. On peut faire cette expérience, en plaçant une lentille vis-à-vis un objet (une fenêtre, une bougie, etc.), et disposant un papier blanc à son foyer, on verra alors une image très-nette, mais renversée de cet objet. Si, au volet d'une chambre tenue obscure, on perce un trou dans lequel on ajuste une lentille, on obtiendra, sur un plan situé derrière, une image très-nette, mais renversée, des objets situés vis-à-vis : tel est le *principe de la chambre obscure*.

Lorsque le point radieux se trouvera au foyer des rayons parallèles, les caustiques se sépareront et se porteront sur les côtés. Lorsque le point radieux se trouvera entre le foyer des rayons parallèles et la surface du corps réfringent, il se formera une caustique au-dessus de lui (552). Par conséquent, si un œil est placé en *o*, *fig.* 195, il verra le corps AB en A'B' et amplifié. C'est ce que nous voyons tous les jours en nous servant du *microscope simple*, qu'on nomme ordinairement *loupe*. Il se présente ici une illusion d'optique qui nous fait juger l'image plus rapprochée de nous, quoique réellement elle soit plus loin. Cet effet est produit par l'augmentation de grandeur, et aussi par l'augmentation de clarté qui a lieu nécessairement, parce que la lentille rendant les rayons convergens, il en entre plus dans l'œil. Pour reconnaître par expérience que l'image est plus loin que l'objet, il faut placer un corps filiforme très-délié derrière une lentille, et qui la dépasse un

peu ; alors, si on compare la position de l'objet vu directement avec celle de son image, on reconnaîtra que celle-ci est plus éloignée.

(559) *Dans le cas où les deux surfaces sont convexes*, on a les mêmes résultats ; seulement, pour des courbures égales des surfaces courbes, et pour une même position du point radieux, les points de rebroussement des caustiques sont moins éloignés pour le milieu biconvexe, que pour le milieu plan-convexe.

(560) *Aberration de sphéricité.* — D'après tout ce que nous venons de dire, on doit voir que les rayons partis d'un point lumineux, ne se réuniront tous en un point, après la réfraction, que dans le cas où le verre convexe sera infiniment petit ; dans tout autre cas, il se formera des caustiques en vertu des rayons réfractés sur les différens points de la convexité de la lentille. Il en résulte que l'image d'un objet qui se forme au foyer d'une lentille, est toujours déformée par des auréoles que les rayons réfractés par les bords vont y produire. C'est cet effet qu'on désigne par le nom d'*aberration de sphéricité*.

(561) *L'une des surfaces étant plane et l'autre concave*, *fig.* 196, les rayons, partis d'un point *a*, divergeront après l'émergence ; de sorte que si un œil est placé en *b*, il verra le point *a* sur la direction *ba'*. *Si les deux surfaces sont concaves*, les rayons divergeront encore plus.

Si on regarde un objet à travers un verre plan-concave ou biconcave, cet objet sera toujours vu au-delà du verre et jamais renversé ; mais il sera plus petit et plus rapproché, *fig.* 197. Il y a encore ici une illusion qui nous le fait juger plus loin de nous : cette illusion tient à la diminution de grandeur, et à la diminution de l'intensité de la lumière qui a nécessairement lieu, puisque les rayons sont plus divergens après la réfraction, et qu'alors il en entre moins dans l'œil.

(562) *Explication de divers effets qui se rapportent aux théories précédentes.* — C'est d'après la propriété

que la forme convexe donne aux corps diaphanes, de rassembler les rayons de la lumière, que divers ouvriers, comme les graveurs, les horlogers, les cordonniers, etc., font usage de bocaux remplis d'eau, de loupes, placés devant une lampe ou une chandelle, pour en projeter la lumière à l'endroit où ils travaillent. Souvent ils colorent légèrement en vert ou en bleu l'eau dont ils remplissent le bocal, pour éviter l'effet de la lumière rouge que produit le corps lumineux qu'ils emploient, et qui fatigue extrêmement la vue.

C'est aussi d'après la propriété des verres biconvexes, de rassembler les rayons lumineux en un foyer, qu'on emploie ces sortes de verres pour la construction des divers instrumens d'optiques, comme les lunettes de divers genres, les microscopes, les télescopes, etc.; mais nous traiterons de ces instrumens dans un chapitre particulier, après avoir fait connaître diverses autres propriétés de la lumière.

Il est facile aussi d'expliquer, d'après les effets des surfaces convexes ou concaves, un phénomène qu'on remarque souvent dans les ruisseaux peu profonds, lorsqu'il y a des plantes posées sur la surface de l'eau, ou de petits animaux qui y nagent. On remarque alors que l'ombre projetée au fond du ruisseau, est plus large qu'elle ne devrait l'être, et qu'elle est entourée d'une auréole lumineuse très-vive.

Ce phénomène a lieu toutes les fois que le corps n'est pas susceptible d'être mouillé : on peut le reproduire avec une petite boule de cire, etc., dans un petit vase rempli d'eau, et exposé au soleil. Ce corps *a*, *fig.* 198, détermine le liquide à s'abaisser au-dessus de son niveau (342), et à former une courbe convexe. Le rayon de lumière *b*, qui tombe sur cette courbe, est réfracté, et prend la direction *cd*, ce qui produit l'élargissement de l'ombre. D'un autre côté, ce rayon se joint en *d* avec le rayon *f*, et par conséquent y forme un point lumineux. Le même effet a

lieu tout autour du corps, ce qui nous explique l'auréole lumineuse.

Si on force le corps à plonger entièrement, l'ombre prend la largeur convenable; et il n'y a plus d'auréole.

Si le corps qu'on emploie est susceptible d'être mouillé, un morceau de liége, par exemple, l'ombre est beaucoup plus petite qu'elle ne devrait l'être, et elle est entourée d'une large auréole lumineuse. On pourra même, en employant un très-petit corps, ne pas obtenir d'ombre, et avoir à la place une lumière très-vive. Ce corps *a*, *fig.* 199, détermine le liquide à s'élever au-dessus de son niveau (341), et à former une courbe concave. Un rayon lumineux *b*, venant à tomber sur cette courbe, est réfracté, et prend la direction *cd*. Il en est de même d'un autre rayon *f*, qui prend, après la réfraction, la direction *gh*. Voilà comment l'ombre est rétrécie. Si le corps est très-petit, l'espace *hd* sera entièrement éclairé. Si on force aussi le corps à plonger entièrement dans le liquide, l'ombre prendra sa véritable largeur, et ne sera plus entourée d'une auréole lumineuse.

Si on plonge en partie une épingle dans l'eau, il va se peindre sur la paroi latérale du vase une ombre représentée *fig.* 200 A. La partie circulaire s'élève à mesure qu'on enfonce l'épingle dans le liquide; elle est entourée d'une auréole lumineuse. On concevra ce qui se passe dans cette expérience, en faisant attention que l'épingle, qui est sèche, détermine, en descendant, le liquide à s'abaisser, et à former une surface convexe.

Si on retire l'épingle de l'eau, l'ombre sera coupée en deux parties par une lumière très-vive, *fig.* 200 B. On concevra encore ce qui se passe, en faisant attention que l'épingle qui a été mouillée, détermine, en remontant, le liquide à s'élever au-dessus de son niveau, et à former une surface concave.

CHAPITRE III.

De l'œil et de la vision.

(563) *Idée générale de l'organe de la vue, dans les divers animaux.* — L'œil, dans l'homme et les animaux qui vivent à la surface de la terre, est une masse à-peu-près sphérique, un peu aplatie au devant. Dans les animaux qui vivent dans l'eau, l'œil est très-aplati par devant ; dans beaucoup de poissons, il n'est qu'une demi-sphère ; dans les raies, ce n'est qu'un quart de sphère.

Dans les oiseaux qui se tiennent dans les parties supérieures de l'atmosphère, la partie antérieure de l'œil est tantôt plate, tantôt en forme de cône tronqué : on trouve, au-dessus, un cylindre court, surmonté d'une éminence très-convexe.

Les yeux des araignées, des scorpions, etc., ne sont que de très-petits points qu'on aurait peine à regarder comme des organes de la vue, si des expériences précises ne le démontraient. Les cloportes, les mouches, etc., ont des yeux, souvent très-gros, composés d'une multitude de petites facettes. Beaucoup d'insectes portent à-la-fois des yeux simples et des yeux composés ; tels sont les guêpes, les cigales, etc.

Il existe aussi une multitude d'animaux dans lesquels on ne peut apercevoir en aucune manière les organes de la vue. Il paraît que, dans ces animaux, le sens du toucher, qui est extrêmement développé, tient lieu de tous les autres.

(564) *Description de l'œil des animaux les mieux organisés.* — L'œil se compose de plusieurs tuniques disposées les unes sur les autres. La plus extérieure, qui forme

le blanc de l'œil, se nomme *sclérotique*, de σκληρὸς, *dur*, à cause de sa dureté. Elle est percée, au devant, d'un trou où se trouve enchâssée une membrane transparente BCD, *fig.* 201, qui fait saillie au-dessus, et qu'on nomme *cornée*.

La membrane suivante, nommée *choroïde*, qui se partage en deux à la partie antérieure, est percée d'une ouverture KL, qu'on nomme *prunelle*, et dont la forme varie dans les divers animaux.

La *rétine* MP est la partie principale de l'œil; elle est formée par l'expansion du nerf optique sur la choroïde, sur laquelle elle n'est qu'appliquée. C'est elle qui reçoit les impressions de la lumière.

L'intérieur de l'œil est rempli par trois sortes d'humeur.

L'humeur aqueuse entre la cornée et le cristallin : sa pesanteur spécifique est, dit-on, 0,975. Elle se trouve en moyenne quantité dans l'homme et les autres mammifères, et en très-grande quantité dans les oiseaux : elle est en très-petite quantité ou nulle dans les poissons, etc.

Le cristallin, NOQ, *fig.* 201, est une lentille transparente comme du verre, qu'il est très-facile d'observer en ouvrant l'œil d'un mouton ou d'un bœuf. Elle est aplatie dans l'homme, moins dans les oiseaux, plus convexe dans les autres mammifères, très-convexe dans les poissons.

L'humeur vitrée, qui occupe la troisième chambre de l'œil, est gluante, visqueuse, d'une réfringence à-peu-près égale à celle de l'eau.

Il y a des *muscles* pour mouvoir le globe de l'œil, des *glandes* qui sécrètent diverses humeurs, des *paupières*, variables de forme dans les divers animaux, pour le préserver. La peau se prolonge sur les paupières, et de là sur le globe de l'œil, où elle s'amincit. La plupart des poissons, les serpens, etc., n'ont pas de paupières : la peau passe directement au-dessus de l'œil, où elle est seulement un peu plus transparente. Dans quelques animaux, elle

n'est pas même transparente; dans d'autres, elle est couverte de poils comme le reste du corps.

(*Voyez*, pour les détails anatomiques, Cuvier, Anatomie comparée, et notre 4.e volume).

(565) *Des fonctions de l'œil.* — L'œil fait l'office d'une chambre noire garnie d'une lentille (549). La rétine est le plan sur lequel les objets viennent se peindre. (*Fig.* 201). Si le point radieux est très-près de l'œil, les caustiques qui en résulteront auront leurs points de rebroussement au-delà de la rétine, et on n'aura qu'une image confuse (549). Si le point radieux est très-éloigné, les caustiques auront leurs points de rebroussement en deçà de la rétine, et l'objet ne sera pas encore vu nettement. Il est donc nécessaire, pour avoir une image nette de l'objet, d'en être à une distance convenable, qui varie dans les divers animaux.

Si le cristallin est très-dense, très-convexe, ou si la rétine est très-éloignée, l'animal ne peut voir que les objets les plus proches. Si le cristallin est moins dense, plus plat, ou la rétine plus voisine, il ne distinguera que les objets les plus éloignés. La disposition des humeurs et du cristallin, est parfaitement en rapport avec le genre de vie de l'animal. Les oiseaux, qui ont besoin de voir de très-loin, ont l'humeur aqueuse très-convexe. Cette humeur n'existe pas dans les poissons où elle serait inutile, puisqu'elle n'a pas plus de réfringence que l'eau, et qu'alors les rayon ne s'y briseraient pas. En revanche, le cristallin est excessivement convexe. C'est ce qu'on trouve aussi dans les oiseaux plongeurs.

On peut remarquer que, d'après la théorie précédente, l'image qui se peint au fond de l'œil est renversée, parce que les rayons se croisent en passant par la prunelle; cependant nous voyons les objets droits, parce que nous jugeons de la direction de chaque point par la direction du rayon lumineux qui en vient.

(566) *Contraction et dilatation du globe de l'œil et de*

la prunelle, suivant les circonstances. — L'animal dont les yeux sont disposés de manière à voir de loin, ne pourrait rien voir de près, si le globe de l'œil ne s'allongeait de manière à ce qu'il y ait plus d'espace entre la rétine et le cristallin, et à ce que la cornée se bombe davantage. La prunelle se resserre alors pour laisser passer moins de rayons. En regardant des objets très-éloignés, le globe de l'œil, au contraire, s'aplatit; la cornée devient alors moins bombée, et la prunelle se dilate pour laisser passer plus de rayons. On sait que l'œil fatigue beaucoup pendant ces mouvemens.

Dans un endroit obscur, la prunelle est très-dilatée, et dans un endroit très-éclairé, elle l'est beaucoup moins. Si on passe d'un endroit obscur dans un endroit très-éclairé (*), il se précipite, par l'ouverture dilatée de la prunelle, une grande quantité de rayons qui, en tombant sur la rétine, font éprouver une sensation désagréable. Lorsqu'on passe d'un endroit éclairé dans un endroit plus obscur la prunelle resserrée, n'admet plus assez de lumière pour qu'on puisse distinguer les objets : ce n'est que petit à petit que la prunelle se dilate, et que nous finissons par voir plus ou moins distinctement.

(567) *Le plus souvent les objets nous paraissent simples, quoique nous les voyons des deux yeux à-la-fois.* — La position de l'organe de la vue varie considérablement dans les différentes espèces d'animaux. Telle espèce ne peut voir que latéralement; telle autre ne peut voir qu'en bas; telle autre ne peut voir qu'en haut, etc. (*Voyez* l'histoire naturelle). Beaucoup d'animaux, le plus grand nombre des oiseaux, les lézards, ne peuvent voir le même objet que d'un seul œil à-la-fois.

L'homme, et plusieurs autres animaux, peuvent, au contraire, voir le même objet par les deux yeux à-la-fois.

(*) Il arrive souvent alors qu'on éternue; cet effet tient à la correspondance qui existe entre les nerfs optiques et les nerfs olfactifs.

Cependant, on sait que l'objet ne paraît pas double ; mais cela n'a lieu qu'autant que les images tombent sur des plans correspondans des deux rétines ; alors les deux impressions qui en résultent sont uniformes, et ne produisent qu'une sensation. Si un œil est un peu tordu, tourné autrement que l'autre, les images n'occupent plus sur les rétines, des plans correspondans, et nous voyons double. Dans les accès de fureur, pendant l'ivresse, où l'homme n'est plus capable de diriger ses yeux, les objets lui paraissent doubles.

(568) *L'action de la lumière, sur l'œil, n'est pas instantané ;* car, si on regarde un corps coloré fixement pendant quelque temps, et qu'on ferme ensuite les yeux, on conserve encore la sensation de cette couleur. C'est aussi parce que l'action de la lumière n'est pas instantanée, qu'on aperçoit un ruban de feu lorsqu'on fait mouvoir un charbon allumé (*). On sait qu'une baguette de bois, ou tout autre corps qu'on fait mouvoir rapidement, produit sur l'œil la sensation d'une surface.

C'est aussi parce que l'impression d'un objet sur notre œil ne se fait pas instantanément, que nous ne pouvons apercevoir un corps qui se meut avec une extrême vitesse. Ainsi, par exemple, un boulet de canon, lancé par une bouche à feu, est invisible pendant une grande partie de son mouvement, parce qu'il ne reste pas assez de temps dans un même lieu, pour qu'on ait celui de l'apercevoir.

(569) *Comment le toucher et l'habitude modifient les effets de la vision.* — L'image qui se peint sur la rétine est une simple surface, revêtue de couleurs, sans aucun relief : nous n'avons là aucun moyen d'estimer la distance et de juger des inégalités d'un corps. Les aveugles de nais-

(*) On pourrait demander pourquoi on voit plusieurs lumières lorsqu'on reçoit un coup sur l'œil. Cela tient à la secousse qu'éprouvent alors les nerfs optiques.

sance, qu'on a opéré de la *cataracte* (*), croient d'abord que les objets qu'il voient, touchent immédiatement leurs yeux; tout leur paraît un plan diversement coloré; les objets ne leur paraissent plns, à la vue, ce qu'ils les avaient jugés au toucher. S'ils marchent, ils sont effrayés de ce qui se trouve auprès d'eux : ce n'est que petit à petit, et à mesure qu'ils peuvent comparer les divers objets par le tact, qu'ils parviennent à reconnaître les formes par la distribution de la lumière et des ombres. Lorsqu'ils ont acquis cette habitude de juger, si on leur présente un tableau, ils y croient les objets en relief, et sont fort étonnés de ne pas les trouver tels en touchant la toile.

Les personnes ainsi opérées sont encore très-long-temps à pouvoir juger des distances. Ce n'est qu'en portant la main sur l'objet, ou s'avançant vers lui lorsqu'il est éloigné, qu'elles peuvent acquérir petit à petit une idée nette de la position d'un corps dans l'espace.

Il en est à-peu-près de même à notre égard; les connaissances que nous avons acquises par l'habitude, modifient singulièrement les jugemens que nous pourrions porter sur la grandeur des corps, ou sur leur position dans l'espace, d'après l'angle visuel. Par exemple, en jugeant par l'angle visuel, nous devrions voir un homme qui est à 300 pas de nous plus petit que lorsqu'il est à 100; cependant nous jugeons cet homme à-peu-près aussi grand à une distance

(*) On nomme cataracte une maladie des yeux où le cristallin est devenu opaque. Pour faire l'opération de la cataracte, on ouvre une partie de la cornée, et avec une aiguille on fait tomber le cristallin : la place qu'il tenait se remplit d'une humeur aqueuse qui produit à-peu-près pour la vision le même effet que lui. Ce qu'il y a de remarquable c'est que le cristallin qui est ainsi tombé dans la cavité de l'œil disparaît bientôt; de sorte qu'il faut admettre qu'il est dissous par l'humeur aqueuse.

qu'à l'autre, lorsqu'entre lui et nous, il se trouve des objets de comparaison. Nous rectifions ici l'angle visuel par l'idée que nous conservons de la taille d'un homme : nous le comparons, sans nous en douter, à la hauteur de la porte d'une maison, à la hautear du tronc d'un arbre, à tous les objets environnans, sur la grandeur desquels nous avons des idées précises et que nous comparons entre eux et avec notre homme, pour rectifier la grandeur apparente de l'un par la grandeur connue de l'autre.

Si nous voyons un homme à 300 pas de nous dans un endroit nu, par exemple sur les grandes plages de sable qui bordent quelques parties de l'Ocean à marée basse, nous le voyons très-petit, et nous le prenons pour un enfant : dans ce cas, nous jugeons véritablement par l'angle visuel, et rien aux environs ne vient rectifier le jugement que notre œil a porté par ce moyen.

(570) *Diverses illusions qui ont lieu, lorsqu'on juge la position et la grandeur des objets par l'angle visuel.* — En général, malgré l'habitude, nous jugeons encore très-souvent par l'angle visuel, et nous avons alors des illusions plus ou moins surprenantes. Tout le monde sait qu'étant à l'extrémité d'une longue avenue, les deux rangées d'arbres dont elle est bordée paraissent converger à l'extrémité opposée, et que les arbres paraissent diminuer successivement de grandeur. Cet effet vient de ce que les parties éloignées de l'avenue sont vues sous des angles optiques de plus en plus aigus ; ainsi la distance entre les points E et D, *fig.* 202, nous paraît plus petite que celle entre les points F et H. Si l'avenue se prolongeait assez loin, les angles optiques deviendraient de plus en plus petits, finiraient par être nuls, et les rangées d'arbres sembleraient se joindre. Par la même raison, le plancher et le plafond d'une longue galerie semblent se rapprocher l'un de l'autre par l'extrémité opposée à celle où nous sommes. Si un homme est placé au pied d'une tour dont il regarde le sommet, cet édifice paraît pencher de son

côté au point de l'effrayer. Lorsqu'on se trouve vis-à-vis une plaine très-considérable, comme sur les bords de la mer, cette plaine paraît s'élever en pente douce.

D'après les données précédentes, il est facile d'établir, dans un jardin, une avenue qui, pour une certaine position de l'observateur, paraisse plus longue qu'elle ne l'est réellement; il suffit pour cela de planter des arbres qui aillent successivement en diminuant de hauteur, et de manière à ce que l'allée soit plus étroite à l'extrémité opposée qu'à celle où l'on est.

Nous ne pouvons juger de l'éloignement d'un corps que par la comparaison que nous faisons de sa position avec celle des objets intermédiaires sur la distance desquels nous avons des idées précises. Si ces points de comparaison nous manquent, l'œil n'a plus rien dont il puisse se servir pour mesurer l'espace et en compter les parties; on ne peut alors juger de la distance que par l'angle visuel, et il faut pour cela une habitude particulière. Les marins, les habitans des côtes ont acquis cette habitude, et jugent assez bien de l'éloignement d'un bâtiment qui est en mer. Au contraire, les personnes de l'intérieur du continent, qui vont sur les côtes, ne peuvent se former une idée de la distance, souvent très-grande, qui les sépare d'un bâtiment: elles la jugent toujours plus petite qu'elle n'est réellement; mais au défaut d'habitude de juger par l'angle visuel, il se joint une illusion d'optique qui n'a jamais été citée et qui mérite de l'être: c'est que, d'après ce que nous avons dit n.º 553, la réfraction doit élever l'horizon et nous le faire voir plus rapproché de nous; or, lorsqu'un bâtiment est isolé sur la plaine liquide, nous ne pouvons le juger que comparativement à l'horizon, et dès lors nous le croyons aussi plus près de nous.

Si quelqu'un habitué à voir de petites montagnes auprès de lui, se trouve transporté dans un endroit d'où il puisse en apercevoir au loin de très-grandes, il ne man-

quera pas de juger celles-ci beaucoup plus près de lui qu'elles ne le sont réellement.

Lorsque les objets sont très-éloignés de nous, il nous est impossible de juger de leurs distances individuelles; dès lors une ligne irrégulière nous paraît un arc de cercle, parce que nous croyons tous ces points également éloignés de nous; c'est pour cela qu'étant au milieu d'une plaine, les objets éloignés semblent former un cercle au centre duquel nous nous croyons toujours placés. C'est encore pour cela que *le ciel nous représente une sphère parsemée d'étoiles*, parce que nous estimons au premier aspect que tous ces astres sont également éloignés de la terre.

Une petite ligne courbe ou polygonale, vue de loin, nous paraît une petite ligne droite : un polyèdre à facettes ou irrégulier nous paraît une sphère, et même, s'il est assez loin, il ne nous paraît qu'une simple surface circulaire. C'est justement ce qui a lieu à l'égard du *soleil et de la lune que nous voyons comme des disques circulaires.*

(571) *Circonstances qui nous font juger les astres plus grands à leur lever qu'au-dessus de l'horizon.* — La lumière d'un objet éloigné étant plus faible que celle d'un objet voisin (539), si, par des circonstances particulières, il arrive que l'objet le plus éloigné soit le plus éclairé, nous le jugerons nécessairement plus près de nous que les autres. On a beaucoup d'occasions de faire cette remarque, par exemple, sur deux maisons voisines dont l'une est blanchie nouvellement et dont l'autre est sale; il arrive alors que nous jugeons la première plus rapprochée de nous que la seconde, quoique réellement elle soit plus loin.

C'est précisément pourquoi le soleil et la lune nous paraissent plus grands à leur lever que quand ils sont avancés sur l'horizon. A leur lever, leur intensité de lumière est plus faible (539), nous les jugeons alors à une certaine distance de nous; mais à mesure qu'ils s'élèvent sur l'ho-

rizon, leur lumière devenant plus vive, nous les jugeons successivement plus près de nous: le maximum de ce rapprochement a lieu lorsque l'astre se trouve au-dessus de notre tête. Il résulte de là que ces astres paraissent suivre dans le ciel une courbe très-surbaissée *acd*, *fig.* 203; or, lorsque l'astre est réellement en A, nous le jugeons en *a*; lorsqu'il est en B, nous le jugeons en *b*, et dans ce dernier cas, il paraît nécessairement plus petit.

(572) *Illusions d'optique produites pendant le mouvement des corps.* — Si une sphère en mouvement sur son axe se trouve éloignée de nous, il nous sera impossible de nous apercevoir qu'elle se meut, à moins qu'il n'y ait des taches que nous verrions en divers instans et qui disparaîtraient dans d'autres: aussi, est-ce par les taches qu'on a pu juger, par observation, du mouvement de rotation du soleil et des planètes sur elles-mêmes.

Une bougie allumée, qui se meut autour d'un cercle très-éloigné de nous, nous paraît simplement aller et venir d'une extrémité à l'autre du diamètre de cette courbe. C'est précisément ce qui a lieu à l'égard des planètes qui décrivent réellement des courbes fermées autour du soleil, et qui nous paraissent seulement aller et venir sur une ligne droite qui passerait par le centre de cet astre.

Lorsqu'un observateur en mouvement ne peut juger qu'il se meut, il croit que ce sont les objets environnans qui sont en mouvement autour de lui; c'est le cas d'un homme emporté dans un bateau par le courant d'une rivière; c'est aussi le cas de la terre autour de laquelle tous les astres semblent circuler.

Notions générales de perspective.

(573) Les peintres ne sauraient trop étudier les effets de la vision, puisque leur art consiste à bien représenter sur un plan les objets, selon la différence que l'éloigne-

ment et la position y apportent, soit pour la figure, soit pour la couleur. Ils doivent aussi étudier avec soin la forme des ombres et leurs positions relativement à la forme du corps, relativement à l'endroit d'où la lumière est censée venir dans le tableau, et à la disposition de la surface sur laquelle l'ombre est projetée.

La perspective d'un point est à l'endroit où un plan est traversé par le rayon mené de ce point à l'œil.

Chaque surface peut être considérée comme la base d'une pyramide de rayons lumineux qui viennent de tous ses points. L'intersection de cette pyramide par un plan, sera *la perspective linéaire de la surface* : cette perspective sera semblable à l'objet, quand le tableau sera parallèle à cet objet; dans toutes les autres positions, elle en différera plus ou moins.

Plus l'objet sera éloigné derrière le tableau, plus la perspective sera petite; ainsi le plus ou le moins de grandeur de la perspective, nous fait juger du plus ou moins de proximité du corps.

Étant dans un appartement, et regardant la campagne par les vitres de la croisée, si nous concevons que chaque rayon lumineux qui vient des différens points de la campagne, laisse, en passant, sa perspective sur la vitre; nous aurons la perspective linéaire de la campagne; si nous ajoutons à chaque point de la perspective, la teinte de couleur qui lui est propre (l'art d'appliquer la couleur convenable à tel ou tel point se nomme *perspective aérienne*), si nous projetons sur le terrein les ombres d'une manière convenable, nous aurons la peinture de la campagne.

Si on transporte le vitrage ainsi peint partout ailleurs, chaque point du tableau se trouvant sur la direction du rayon venu de l'objet réel qui se trouvait derrière, fera toujours naître en nous la sensation de cet objet, et nous croirons voir la campagne. On juge bien, d'après cela, que tout ce qui est dans un tableau se trouve assujéti à un

même point de vue, et qu'au-delà de ce point on ne trouve plus le même effet. On ne remarque pas cela précisément dans un tableau de paysage ordinaire; mais on peut dessiner une avenue, une maison, une cage, une chaise, de manière à produire une illusion complète d'un point donné, tandis que partout ailleurs on ne verra qu'un dessin informe et mal ordonné.

Un des plus beaux effets de la perspective est le *Panorama*. C'est un tableau circulaire sans commencement ni fin, et dont on ne peut voir ni le haut ni le bas. Il représente tout l'horizon en grandeur naturelle. Le spectateur est placé à l'endroit même d'où le peintre a pris la vue, de sorte que chaque point du tableau se trouve précisément sur la route du rayon lumineux qui viendrait immédiatement d'un point de la campagne que le peintre avait sous les yeux, et que l'ensemble de ces rayons excite en nous la sensation de la campagne.

La géométrie fournit des règles pour le tracé de la perspective linéaire, pour la projection et la forme des ombres; mais elle n'en peut fournir à la perspective aérienne, cette partie si difficile de la peinture.

Des défauts de la vue et des moyens d'y remédier.

(574) Nous ne nous occuperons ici que des défauts auxquels la dioptrique peut fournir des remèdes. Telles sont ceux qu'on désigne par les noms de *vue courte*, c'est-à-dire, qui ne peut apercevoir les objets que de très-près, et de *vue longue*, qui ne peut apercevoir que les objets éloignés.

—*Vue courte*. Lorsque le cristallin, ou le devant de la cornée, sont trop convexes, les images des objets placés à une certaine distance, se forment au-devant de la rétine; d'où il résulte qu'on ne voit que confusément. Il faut alors s'approcher beaucoup de ces objets pour que leurs images puissent se peindre nettement sur la rétine. Les personnes

qui ont ce défaut dans la vue se nomment *myopes*, de *μύω*, *fermer*, et de *ὤψ*, *l'œil*, parce qu'elles ferment un peu l'œil pour diminuer la distance entre le cristallin et la rétine, pour diminner la convexité de la cornée, et pour rétrécir la prunelle.

Pour remédier à ce défant, il faut augmenter la divergence des rayons, qni viennent des objets jusqu'à l'œil, afin qu'après avoir été ensuite réfractés par la cornée et le cristallin, ils forment des caustiques dont les points de rebroussement se portent jusque sur la rétine. C'est à quoi on parvient au moyen des lunettes à verres plus ou moins concaves.

Vue longue.—Lorsque la cornée et le cristallin n'ont que la convexité nécessaire pour faire peindre nettement sur la rétine les objets les plus éloignés, il arrive que les images des objets plus rapprochés se forment derrière la rétine, et par conséquent qu'on ne voit encore que confusément. Tel est le défaut qui se manifeste dans la vue des vieillards, parce qu'avec l'âge, les humeurs se sont desséchées, et qu'il en résulte que le cristallin est alors aplati, et le devant de la cornée affaissé. On donne le nom de *presbyte*, dérivé de *πρέσβυς*, *vieillard*, à ceux qui ont la vue ainsi altérée.

Pour remédier à ce défaut, il faut diminuer la divergence des rayons qui arrivent des objets jusqu'à nous, afin que les points de rebroussement des caustiques, qui se forment dans l'œil, soient ramenés sur la rétine : c'est à quoi on parvient, en employant des lunettes à verres convexes.

(575) *Lunettes périscopiques.* — Les lunettes ou *bésicles*, dont on se sert ordinairement, ont un grand défaut, qui consiste en ce que, quand on regarde un objet à travers, on ne voit nettement que dans un très-petit espace autour du centre du verre, et que les parties situées un peu plus loin, sont déplacées et déformées ; c'est ce qu'on peut voir en essayant de lire avec un verre biconvexe. Cet effet provient de ce que les rayons qui partent des objets

éloignés, et qui ne peuvent arriver à l'œil que par les bords du verre, tombent très-obliquement sur ce verre, et subissent alors une grande réfraction ; d'où il résulte, en avant de la rétine, des images déformées, qu'on ne voit que confusément.

M. Wollaston, savant physicien anglais, à qui les sciences doivent beaucoup de découvertes précieuses, a imaginé, pour remédier à cet inconvénient, de donner aux verres des lunettes une forme bombée du côté de l'objet, et une forme concave du côté de l'œil. Il résulte, de cette disposition, que les rayons qui arrivent à la prunelle, par les bords du verre, sont moins obliques à la surface réfringente, que dans les verres ordinaires, et que, dès-lors, ils subissent moins de réfraction. Il suit de là que les différens points d'un corps qui peuvent être vus par les bords d'un tel verre, sont beaucoup moins dérangés qu'ils ne le seraient par l'effet d'un verre ordinaire, et que, par conséquent, on distingue nettement un plus grand nombre de points à-la-fois.

M. Wollaston a donné aux lunettes ainsi construites, le nom de *lunettes périscopiques*, épithète dérivée de περὶ, *autour*, et de σκοπέω *regarder*. Ces lunettes ont été introduites en France, il y a deux ou trois ans : nous ne saurions trop en recommander l'usage. On leur trouve cet avantage sur les lunettes ordinaires, que celles-ci exigent, de la part de l'œil, des mouvemens et des tensions continuels pour pouvoir saisir nettement les objets, ce qui, à la longue, doit fatiguer considérablement l'organe. Les lunettes périscopiques laissent à l'œil beaucoup plus de repos ; mais il faut que les verres soient parfaitement travaillés, et que l'artiste ait eu soin de choisir les courbures les plus convenables. On en trouvera qui ont toute la perfection desirable, chez M. Cauchoix, célèbre opticien, quai Voltaire, n.° 17, à Paris.

CHAPITRE IV.

Des phénomènes de la lumière réfléchie, ou de la catoptrique.

(576) Lorsque la lumière tombe sur des corps ternes, elle est en partie absorbée; mais lorsqu'elle tombe sur des corps blancs, ou mieux sur des corps polis, elle est réfléchie plus ou moins complètement : c'est ce que nous voyons tous les jours à l'égard de nos glaces. On peut remarquer aussi qu'il est très-fatiguant de regarder un corps blanc lorsque le soleil donne dessus. Tous les corps, soit opaques, soit diaphanes, dont la surface est polie, réfléchissent la lumière en plus ou moins grande quantité.

ARTICLE PREMIER.

Réflexion de la lumière sur les surfaces planes.

(577) *La lumière est réfléchie en faisant l'angle de réflexion égal à l'angle d'incidence.* — Après avoir fait entrer un rayon de lumière dans une chambre tenue obscure, si on le dirige obliquement à la surface d'un miroir métallique, comme CD, *fig.* 204, on reconnaîtra qu'il est réfléchi à la surface, et qu'il va peindre l'image du trou par lequel il pénètre sur quelque point des parois de la chambre. Si on dispose dans le plan d'incidence du rayon lumineux un demi-cercle gradué dont le centre se trouve au point de rencontre avec le miroir, on reconnaîtra que le

rayon est réfléchi, en faisant l'angle de réflexion égal à l'angle d'incidence. Il résulte de là que plusieurs rayons, dirigés sur une surface réfléchissante, doivent conserver entr'eux, après la réflexion, les mêmes directions qu'ils avaient avant. Il en résulte aussi qu'un rayon perpendiculaire au miroir, est réfléchi sur lui-même : on reconnaît en effet, dans ce cas, qu'il n'y a aucune image réfléchie sur les parois de la chambre.

(578) *Position de l'image d'un corps derrière une surface plane réfléchissante.* — Tous les rayons partis d'un point L, *fig.* 205, placé devant un miroir, étant réfléchis, en faisant l'angle de réflexion égal à l'angle d'incidence, il en résulte que les prolongemens de ces rayons iront tous se couper sur la perpendiculaire LA prolongée, en un seul point L', et à la distance AL' = AL. En effet, l'angle LBC étant égal à LBA, il en résulte que l'angle ABL, qui lui est opposé au sommet, est aussi égal à LBA; donc les deux triangles rectangles ABL, ABL', qui ont le côté AB commun, sont égaux et semblables; donc AL = AL'. Il en est de même d'un point N, qui se peint en N'; par conséquent l'image L'N', du corps LN, se trouve absolument, derrière le miroir, dans la même position que ce corps par devant. C'est par cette raison que les arbres, ou autres objets qui sont sur le bord d'un lac, d'une rivière, se peignent dans l'eau, et y produisent des images renversées; car le point *b*, par exemple, du corps *b c*, *fig.* 206, doit se trouver en *b'*, à la distance *ab'* = *ab*.

Lorsqu'un miroir est incliné en avant de 45^{d}, un objet vertical produit derrière une image horizontale, comme *fig.* 207; car le point *a* doit se peindre derrière le miroir, à la distance *a'c* = *a c*. Il en est de même du point *b*, et de tous les autres points du corps. Si, au contraire, l'objet est horizontal, *fig.* 208, l'image produite derrière le miroir sera verticale.

Pour que quelqu'un, placé debout devant un miroir

vertical, puisse y voir son image entière, il faut que ce miroir ait au moins la moitié de sa taille. En effet, un œil placé en *a*, *fig.* 209, voit, dans le miroir, l'image *a' b'* sous l'angle *a' a b'* : or, les deux rayons interceptent sur le miroir la surface *c d*, moitié de CD, et aussi moitié de *a b*, puisque *a* C = C *a'*. Si le miroir est incliné en avant par sa partie supérieure, il faut moins de grandeur que dans le cas où il est vertical : aussi sait-on qu'on peut se voir tout entier dans un miroir beaucoup plus petit que soi, lorsqu'on l'incline plus ou moins en avant; mais alors l'image paraît être plus ou moins oblique, comme le miroir lui-même.

(579) *Multiplicité des images entre deux miroirs inclinés, ou parallèles l'un à l'autre.* — L'image d'un objet qui se peint derrière un miroir, peut elle-même servir d'objet, et se réfléchir à la surface d'un autre miroir. Si deux miroirs plans font entr'eux un angle quelconque, comme *fig.* 210, un œil placé dans cet angle verra autant de fois l'image d'un objet F, qu'on pourra abaisser de perpendiculaires de cet objet, et de chacune de ses images, sur chaque miroir dans l'intérieur de l'angle. En effet, l'œil étant en *o*, *fig.* 210, reçoit l'image du point F par le rayon brisé F *a o*, et juge cette image en F'. Il reçoit une autre image par le rayon doublement brisé F *b c o*; mais l'angle de réflexion B *b c*, devant être égal à l'angle d'incidence F *b* N, et celui-ci étant lui-même égal à N *b* F', on a B *b c* = N *b* F', donc F' *b c* est une ligne droite; donc l'image F' tient alors lieu de l'objet F, et l'œil voit une seconde image en F" sur la perpendiculaire F' F", menée de F' sur le second miroir.

L'image F" pourrait à son tour servir d'objet, et pour déterminer la position de la troisième image, il faudrait, du point F", mener une perpendiculaire sur BA; mais, dans le cas de la figure, cette perpendiculaire est imaginaire. Dans le cas de la même figure, l'œil peut aussi voir une autre image du point F en φ.

On doit remarquer que le rayon qui apporte à l'œil la première image ne subit qu'une réflexion; que celui qui apporte la seconde subit deux réflexions; celui qui apporterait la troisième en subirait trois, etc. Plus l'angle que font les deux miroirs est aigu, plus il y a d'images visibles; mais ces images diminuent successivement d'intensité, parce qu'il y a beaucoup de lumière perdue à chaque réflexion. Si les deux miroirs étaient parallèles, on verrait une infinité d'images qui iraient continuellement en s'affaiblissant, jusqu'à ce qu'enfin elles ne seraient plus sensibles. On peut remarquer cet effet dans une salle garnie de deux glaces parallèles, entre lesquelles est suspendu un lustre. Si les deux murailles opposées de la salle sont garnies de glaces dans toute leur étendue, on se croit au milieu d'une longue galerie qui serait éclairée par des lustres placés à distance les uns des autres. Tous les autres objets de la salle se répètent également dans cette galerie illusoire. On peut produire, par ce moyen, des effets extrêmement agréables.

(580) *Multiplicité des images que produit une glace ordinaire.* — Tout le monde peut observer, en plaçant une bougie allumée devant une glace ordinaire, qu'il se forme derrière la glace un certain nombre plus ou moins considérable d'images, situées les unes derrière les autres : savoir, une image en avant, une autre derrière, qui est beaucoup plus intense, et plusieurs autres derrière celle-ci, qui vont successivement en diminuant d'intensité, jusqu'à zéro. Le nombre de ces dernières est d'autant plus grand, que l'œil de l'observateur est plus près de la glace, et plus loin du corps lumineux.

Cet effet, qui surprend toujours lorsqu'on le voit pour la première fois, est très-facile à expliquer. La glace de verre a deux surfaces, dont la postérieure est couverte d'un amalgame d'étain et de mercure. Or, lorsque les rayons lumineux arrivent à la première surface, il y en a une partie qui est réfléchie; c'est ce qui produit la première image. (On concevra la rai-

son de cette réflexion partielle, quand nous aurons parlé de la polarisation). L'autre partie pénètre dans le verre, y est réfractée et rapprochée de la perpendiculaire; elle est ensuite réfléchie à la surface du métal, et revient alors dans l'air, où elle subit encore une petite réfraction, en vertu de laquelle le rayon est dirigé dans l'œil : c'est ce qui produit la seconde image, qui est écartée de la première du double de l'épaisseur de la glace, comme on peut s'en convaincre en traçant une figure relative à ce cas. Cette seconde image est plus intense que la première, parce que la surface métallique réfléchit plus complètement les rayons lumineux que la surface de verre.

Quant aux autres images, elles proviennent des rayons lumineux moins obliques que ceux qui donnent les images précédentes : ces rayons, en pénétrant dans le verre, sont un peu réfractés, puis réfléchis à la seconde surface, et reportés à la première ; là, ils subissent encore une réflexion partielle qui en reporte une certaine quantité dans l'intérieur, d'où ils reviennent à la première surface, etc., etc.; de sorte qu'après une suite de réflexions plus ou moins considérables, il y a des rayons qui repassent dans l'air où ils sont réfractés, et convergent assez pour pénétrer dans l'œil et y produire des images d'autant plus faibles, que le nombre des réflexions qu'ils ont subi, dans l'épaisseur de la glace, est plus considérable ; car, à chaque réflexion, une partie de la lumière est perdue.

Cette multiplicité d'images, qui ne peut présenter aucun inconvénient pour l'usage que nous faisons ordinairement des glaces, en présenterait un très-grand dans les instrumens d'optique, parce que les images secondaires défigureraient l'image principale en se confondant plus ou moins avec elle. C'est pourquoi, dans les divers instrumens, on emploie des miroirs métalliques qui ne produisent jamais qu'une seule image.

Du phénomène nommé *Mirage.*

(581) *Production et description de ce phénomène.* — On observe le phénomène singulier dont nous allons parler dans les plaines très-étendues à-peu-près de niveau, qui se prolongent jusqu'à l'horizon apparent, et qui sont situées dans des pays où le sol peut être chauffé par les rayons du soleil à une température très-élevée; comme, par exemple, en plusieurs endroits des côtes de l'Océan et de la Méditerranée; comme aussi dans les plaines sablonneuses de l'Egypte, où ce phénomène est très-commun, et où il a été observé par M. Monge.

Le soir et le matin, on ne voit dans ces plaines que de la terre autour de soi, et les villages ou les arbres qui s'offrent à la vue, ne présentent autour d'eux rien de particulier; mais, dès que la surface du sol est suffisamment échauffée par les rayons du soleil, et jusqu'à ce que le soir elle soit assez refroidie, le terrein paraît terminé à environ 4 kilom. par une inondation générale; les villages qui se trouvent au-delà paraissent comme des îles situées au milieu d'un grand lac : sous chaque objet, on voit son image renversée, telle qu'on la verrait effectivement s'il y avait autour une surface d'eau réfléchissante. A mesure qu'on s'approche de cette inondation apparente, on voit sa largeur diminuer, et elle disparaît enfin entièrement, lorsqu'on s'est suffisamment approché; le phénomène se reproduit sur-le-champ pour les objets situés plus loin.

(582) *Explication du phénomène.* — M. Monge a expliqué ce phénomène d'une manière très-satisfaisante dans le 1.er volume de la Décade Egyptienne; M. Wollaston a donné, dans le même temps, la même explication dans les transactions philosophiques : ce dernier physicien a produit le phénomène artificiellement sur une plaque de fer rouge, et l'a observé aussi sur des corps qui étaient vus

à travers deux fluides de réfringences différentes superposés dans un vase transparent. Voici cette explication.

Au milieu du jour, le sol étant très-échauffé, la couche d'air qui est en contact avec lui, acquiert une température très-élevée; elle se dilate, et se trouve alors à une densité plus faible que les couches qui reposent sur elle : or, les rayons lumineux qui tombent sur cette couche dilatée, sous un angle compris entre une certaine limite *a* et 90^d, sont réfléchis à sa surface comme sur un miroir (546); ils vont porter à l'œil de l'observateur l'image renversée des parties basses du ciel, qu'on voit alors sur le prolongement des rayons qu'on a reçus, et, par conséquent, au-dessous de l'horizon réelle. Dans ce cas, si rien n'avertit de l'erreur, on juge les limites de l'horizon plus basses et plus proches qu'elles ne le sont réellement.

Si quelqu'objet, tels que des villages, des arbres, etc., avertissent l'observateur que les limites de l'horizon sont plus reculées, et que le ciel ne s'abaisse pas à la profondeur où il le jugeait, l'image réfléchie du ciel paraît comme une surface d'eau réfléchissante. Ces villages, ces arbres, envoient des rayons qui sont réfléchis comme l'auraient été les rayons venus de la partie du ciel interceptée par eux. Ces rayons donnent lieu à une image renversée au-dessous des objets réels qu'on voit par des rayons directs.

La limite à laquelle les rayons lumineux commencent à se réfléchir étant constante (546), et les rayons qui font le plus grand angle avec l'horizon, devant paraître venir du point le plus voisin, auquel commence le phénomène, ce point doit être à une distance constante de l'observateur : si celui-ci s'avance, le bord de l'inondation paraîtra s'éloigner, comme on l'observe effectivement.

(583) *Phénomènes des parasélènes et des parhélies.* — La lune se lève, comme on le sait, quelquefois après midi, et, par conséquent, dans le temps où les circonstances sont encore favorables au mirage. Si l'éclat du soleil

et la clarté de l'atmosphère permettent alors qu'on aperçoive la lune à son lever, on verra deux images de cet astre. Ce phénomène est connu sous le nom de parasélène, de παρα, *proche*, et de σελήνη, *lune*, comme qui dirait lunes rapprochées.

On observe sur mer un phénomène semblable, à l'égard du soleil, et qui porte le nom de parhélie (de παρὰ *proche* et de ἥλιος, *le soleil.*) Ce phénomène peut aussi être produit par une espèce de mirage; mais il est nécessaire d'étudier les circonstances qui l'accompagnent : au reste, il est fort rare.

Un navire en mer et vu dans le lointain présente aussi quelquefois deux images, une droite ordinaire et une renversée; de là, le nom de *mirage* qui a été donné par les marins. Ce phénomène paraît tenir à ce que la couche d'air, qui est en contact avec les eaux, se trouve saturée de vapeurs, et a dès lors une densité moindre que les couches supérieures; il est assez rare et ne se montre que pendant un instant dans les changemens subits de température.

ARTICLE II.

Réflexion de la lumière sur des surfaces convexes.

(584) Le point où un rayon lumineux rencontre une surface courbe, peut être considéré comme un très-petit plan, faisant partie du plan tangent qu'on peut mener par ce point à la courbe. Le rayon incident se réfléchit sur ce plan, en faisant l'angle de réflexion égal à l'angle d'incidence; il sera donc facile de déterminer sa direction, après la réflexion.

Supposons un miroir convexe, que, pour plus de simplicité, nous regarderons comme une portion de sphère. Si un point lumineux est placé sur le miroir même, il ne se passera rien de particulier; mais s'il est placé à une cer-

taine distance vis-à-vis ce miroir, les différens rayons qu'il enverra seront réfléchis divergens, et leurs prolongemens iront former une *caustique par réflexion* derrière le miroir. La distance du point de rebroussement de la caustique sera toujours en raison de la distance du miroir au point radieux ; mais aussi elle sera toujours plus petite à cause de la divergence des rayons réfléchis.

(585) *Position de l'image d'un objet vu par réflexion dans un miroir convexe sphérique.* — Pour déterminer le lieu de l'image d'un corps ABC, *fig.* 211, pour un œil placé en *s*, on déterminera les caustiques de chaque point du corps et on leur mènera des tangentes par le point *s*, qui détermineront l'image A'C'B', toujours plus petite que l'objet, plus ou moins déformée, et rapprochée de la surface réfléchissante.

On peut observer facilement les effets des miroirs convexes, pour diminuer les objets et les déformer, sur une boîte de montre unie. En se regardant dans ce petit miroir, on verra son portrait en miniature ; mais on remarquera qu'il est mal terminé et irrégulier. Ces irrégularités sont, à la vérité, moins sensibles sur un miroir construit exprès et dont la courbure est parfaitement continue. Les peintres pour dessiner et réduire des paysages, se servent quelquefois avec avantage de semblables miroirs ; il est toujours facile de corriger le dessin des irrégularités que peut faire commettre la surface réfléchissante ; d'ailleurs, l'image est toujours plus régulière pour des objets éloignés que pour des objets très-rapprochés ; c'est encore ce qu'on peut voir en se regardant de loin dans la boîte d'une montre.

ARTICLE III.

Réflexion sur des surfaces concaves.

(586) *Foyer des rayons parallèles.* — Les rayons lumineux parallèles qui tombent sur un miroir concave sphé-

rique, *fig.* 212, forment, après la réflexion, une caustique dont le point de rebroussement, ou foyer des rayons parallèles, se trouve en *g*, au milieu du rayon de la surface réfléchissante. Ce point ne saurait être ni plus haut, ni plus bas; car, à cause de l'angle de réflexion égal à l'angle d'incidence, un des rayons incidens, dans le cas du parallélisme, son rayon réfléchi et le rayon de la surface, doivent former un triangle isocèle BCD. En effet, l'angle DCB = ABC, comme alterne-interne, et CDB = ABC par l'effet de la réflexion; donc BCD = CBD. Si le point de rebroussement était plus haut ou plus bas que *g*, l'isocélisme n'aurait pas lieu pour les rayons infiniment voisins de celui A'B', et, par conséquent, les angles de réflexion seraient plus grands ou plus petits que les angles d'incidence.

Dans le cas d'un miroir parabolique, la caustique des rayons parallèles se réduirait à un point qui serait le foyer mathématique de la courbe, parce que c'est une propriété de la surface parabolique de renvoyer à son foyer tous les mobiles qui sont lancés sur elle dans des directions parallèles à son axe. Si on plaçait un point lumineux au foyer d'un miroir parabolique, tous les rayons de lumière qui en émaneraient seraient réfléchis parallèles. D'après cela, toutes les fois qu'il s'agit de projeter la lumière au loin sur une petite largeur, comme dans une rue, par exemple, on doit se servir de miroirs paraboliques; c'est pourquoi il serait utile de substituer, à Paris, des miroirs paraboliques aux réflecteurs sphériques irréguliers de nos réverbères, qui ne renvoient parallèles que les rayons infiniment voisins de l'axe. Les réflecteurs paraboliques sont extrêmement avantageux pour la construction des *phares* : M. Bordier a construit sur ce principe des phares qui sont d'un très-bel effet. Au contraire, lorsqu'il s'agit de projeter la lumière sur une large surface, par exemple pour le travail de bureau, etc., nous croyons que les réflecteurs paraboliques ne sont pas les plus convenables, et qu'il vaudrait mieux

employer des réflecteurs hyperboliques qui étendraient la lumière à une plus grande distance.

(587) *Foyer des rayons divergens.* — A mesure que le corps lumineux se rapprochera de la surface concave réfléchissante, la caustique s'élevera successivement. Quand le point lumineux sera parvenu au centre de la surface réfléchissante sphérique, la caustique se réduira à un point qui se confondra avec le point radieux, parce que tous les rayons seront réfléchis sur eux-mêmes.

Si on transporte le point lumineux au-dessous du centre, la caustique s'élevera au-dessus; quand il sera parvenu au foyer des rayons parallèles, c'est-à-dire, au milieu du rayon de la sphère, les branches de la caustique se sépareront; lorsqu'il sera placé plus près encore de la surface réfléchissante, les branches de la caustique se porteront entièrement sur les côtés, et il se formera derrière le miroir, une autre caustique dont le point de rebroussement sera très-loin. Ce point se rapprochera ensuite à mesure que le point radieux se rapprochera du miroir; et enfin il sera sur le miroir, lorsque le point radieux y sera lui-même.

Toutes ces circonstances sont évidentes pour celui qui veut bien construire les figures qui s'y rapportent; mais on peut aussi faire diverses expériences très-simples qui les présentent d'une manière claire. Qu'on prenne un demi-cylindre de fer-blanc d'un certain diamètre, dont la surface concave soit bien nette et bien polie, qu'on le place verticalement sur une table et qu'on dispose dessous une feuille de papier; qu'on place ensuite une petite bougie allumée vis-à-vis, on verra se former une caustique lumineuse, par réflexion; à mesure qu'on approchera la bougie, on verra la caustique se porter de plus en plus en avant; si on place la bougie au centre de la surface réfléchissante, on ne verra plus aucune courbe lumineuse; mais, si on la rapproche encore, on verra la

caustique s'élever au-dessus du centre. Quand on placera la bougie au milieu du rayon de la surface, on verra les branches de la caustique se séparer ; enfin, quand on l'approchera davantage, on verra les branches de caustique se porter sur les côtés, et bientôt on apercevra une image du corps lumineux dans le miroir, ce qui annonce que les caustiques se forment alors derrière la surface réfléchissante.

(588) ***Position de l'image d'un corps vu par réflexion dans un miroir concave sphérique.*** — Etant donnée la position d'un objet placé devant un tel miroir, si on veut déterminer le lieu de son image, il faudra construire les caustiques de chacun de ces points, et leur mener des tangentes par le point où l'œil est placé : il se présente alors plusieurs cas à examiner.

1.° ***L'objet étant placé au-dessous du foyer des rayons parallèles***, *fig.* 213 ; l'image sera vue derrière le miroir en A'C'B', en supposant l'œil en *o*, amplifiée et un peu déformée. Si l'œil est assez près du miroir, il pourra voir une image renversée et un peu confuse en avant de ce miroir, sur les branches latérales des caustiques ; il pourra même arriver que l'œil voie à-la-fois cette image et celle qui est derrière le miroir.

2.° ***L'objet étant placé entre le centre et le foyer des rayons parallèles***, il se formera une image renversée au-dessus du centre, et encore amplifiée : ainsi un corps étant placé en ABC, *fig.* 214, l'œil qui se trouverait en *o* verrait une image renversée en A'B'C'. Cette image serait un peu déformée ; il n'y en aurait qu'une partie visible si le miroir était trop petit, ou si l'œil était placé de manière à ce qu'on ne pût mener à-la-fois des tangentes à toutes les caustiques.

3.° ***L'objet étant placé au centre***, son image se confondra plus ou moins avec lui, selon sa grandeur.

4.° ***Le corps étant au-dessus du centre***, il se formera une image au-devant du miroir, entre sa surface et l'ob-

jet; un œil placé en o verra l'image du corps ABC, *fig.* 215, en A'B'C' renversée et diminuée de grandeur.

Pour constater, par expérience, ces divers effets des miroirs concaves, il suffit de se procurer un tel miroir, soit de métal poli, soit de verre étamé, et de placer successivement une bougie allumée, à diverses distances, au devant de la surface réfléchissante. On verra l'image de la lumière tantôt derrière le miroir et amplifiée; tantôt en avant du corps lumineux même, renversée et amplifiée; ailleurs on la verra entre le corps lumineux et la surface réfléchissante, renversée et diminuée de grandeur.

On emploie quelquefois les miroirs concaves dans divers instrumens d'optique, comme nous le ferons voir chap. 10. On les emploie souvent pour produire diverses illusions d'optique plus ou moins agréables; par exemple, on peut disposer un objet quelconque, un bouquet et un miroir concave, de manière à ce qu'ils soient tous deux cachés par des corps environnans placés à cet effet, mais que d'un point déterminé de l'appartement, on puisse voir l'image produite par la réflexion. Une personne placée en ce point voit distinctement l'image, qu'elle prend pour la réalité; mais si on la prie d'avancer pour prendre le bouquet, elle est fort étonnée de le voir disparaître tout-à-coup, parce qu'elle s'éloigne de l'endroit unique où elle pouvait recevoir les rayons réfléchis. Nous pourrions citer diverses autres illusions que les gens qui courent les foires mettent souvent à profit; mais aucune de ces illusions n'offrent de difficultés quand on a bien conçu tout ce que nous venons de dire.

ARTICLE IV.

Miroirs prismatiques, cylindriques, pyramidaux et coniques.

(589) Ces sortes de miroirs ne sont que des instrumens de pure curiosité, par le moyen desquels on n'aperçoit

que certaine partie d'un dessin ou d'un objet quelconque placé devant eux, ou qui rectifient certains dessins défigurés exprès. Tout le monde connaît ces cartons peints sur lesquels on voit des figures irrégulières et insignifiantes, qui produisent des images régulières lorsqu'on les place devant un miroir convenable.

Les *miroirs prismatiques* rassemblent en une seule image et sans interruption, plusieurs parties d'un même dessin séparées les unes des autres, et dont l'intervalle est souvent rempli par d'autres figures qui empêchent de reconnaître les rapports qu'elles ont entr'elles. Soit, en effet, ABCDE, *fig.* 216, une portion de miroir prismatique; il est évident que l'œil placé fixement en O ne recevra, par réflexion, que les rayons émanés des objets placés dans les espaces AfgB, BhiC, CklD, DmnF, et que les rayons des objets placés dans les intervalles angulaires seront perdus pour lui, tant qu'il restera dans cette position : de sorte qu'on pourra remplir ces intervalles de figures particulières qui se lient avec les parties qui doivent se représenter dans le miroir, et empêchent de reconnaître leurs rapports mutuels.

Les miroirs pyramidaux sont dans le même cas. En plaçant l'œil sur le prolongement de l'axe de la pyramide, on ne voit que les objets qui correspondent aux différentes faces triangulaires : il faut observer que, d'après le mode de réflexion, l'image est dans une position inverse de l'objet.

Les miroirs cylindriques présentent, dans le sens de leur axe, l'effet des miroirs plans, et dans le sens transversal, l'effet des miroirs convexes ou concaves. On sait qu'en se regardant dans un tel miroir, dont on a placé l'axe parallèlement à la position de ses yeux, on se voit un visage écrasé et très-étendu en largeur ; c'est précisément le contraire, quand on dispose l'axe perpendiculairement à la position des yeux.

Les *miroirs coniques* sont analogues aux miroirs pyramidaux ; mais comme la surface est continue, on voit tous

les objets qui sont situés autour, dans une position renversée et extrêmement défigurée.

La géométrie fournit des règles pour tracer des dessins défigurés qui puissent être rectifiés par un des miroirs précédens; mais les ouvriers qui font ordinairement ces sortes de dessins, les tracent plutôt par une habitude qu'ils ont acquise que d'après les règles géométriques.

(590) On fait aussi des miroirs dont la surface est en partie plane, en partie convexe et concave, et dont les courbures sont discontinues et irrégulières. Ces sortes de miroirs défigurent considérablement les objets, comme il est facile de le prévoir; et lorsqu'on se regarde dedans, on voit son visage tout contourné. J'en ai vu plusieurs de cette espèce, à une des foires de Beaucaire, qui faisaient faire des grimaces diverses extrêmement plaisantes.

CHAPITRE V.

De la double réfraction.

(591) *Définition préliminaire.* — Un assez grand nombre de substances diaphanes ont la propriété de solliciter le rayon de lumière qui les traverse à se diviser en deux faisceaux, dont l'un suit la loi de la réfraction ordinaire, et l'autre une loi particulière découverte par Huyghens. Ce phénomène est surtout remarquable dans certains cristaux de carbonate de chaux limpide, vulgairement nommée spath d'Islande. (*Voyez* la partie minéralogique.) Ces rhomboïdes se présentent quelquefois comme résultats de cristallisation naturelle ; mais ils sont trop petits pour servir aux expériences que nous allons citer. Ceux qu'on emploie sont obtenus en brisant les grandes masses laminaires de carbonate de chaux limpide d'Islande. Leurs faces sont inclinées les unes sur les autres de 105d5', et 74d55' suivant les mesures de M. Wollaston et de Malus.

Soit *fig.* 217, un tel rhomboïde; la ligne *b b'*, qu'on peut concevoir menée dans le cristal d'un angle solide obtus à l'autre, se nomme *axe du cristal*. On nomme *coupe principale*, la section faite dans le solide par les arrêtes *ba'*, *b'a*, et les diagonales *b a*, *b'a'*; elle renferme, comme on voit, l'axe du cristal.

(592) *Effets de la réfraction suivant la position des faces réfringentes, par rapport à l'axe de cristallisation, ou plus généralement par rapport à l'axe de réfraction.* — *a. Les faces réfringentes étant inclinées à l'axe de cristallisation.* Après avoir tracé un très-petit cercle d'encre sur un papier blanc, qu'on pose par-dessus un rhomboïde de carbonate de chaux limpide, on verra deux

images de ce cercle, dont l'une paraîtra plus enfoncée que l'autre.

Si on dispose le rhomboïde de manière que le centre du petit cercle se trouve sur la petite diagonale de la face qui le touche, et qu'on place son œil dans le plan de la coupe principale, on verra que l'image la plus enfoncée est la plus près de l'angle solide obtus, formé par la base du cristal et les faces qui lui sont inclinées. Cette image est celle qui est produite par le rayon extraordinaire. Pour s'en convaincre, on tracera une ligne assez longue, qui passe par le centre du cercle; on placera le rhomboïde de manière à ce que la grande diagonale de sa base soit parallèle à cette ligne, puis on avancera l'œil jusqu'à ce qu'il soit bien verticalement au-dessus de la face du cristal et dans le plan de la coupe principale. La portion de la ligne qu'on verra dans le cristal, se trouvera alors sur le prolongement de sa partie extérieure, parce que le rayon ordinaire, perpendiculaire à la surface réfringente, ne sera pas réfracté: le cercle qu'on verra sur cette ligne sera donc en sa vraie place, et l'autre, situé vers l'angle obtus, ne pourra être vu que par la réfraction extraordinaire.

Le rhomboïde étant placé de manière à ce que la grande diagonale de sa base soit parallèle à la ligne, on verra deux images de cette ligne, qui seront au maximum d'écartement l'une de l'autre. Si on fait tourner le cristal, on verra l'image produite par la réfraction extraordinaire se rapprocher de l'autre; quand la ligne coïncidera avec la petite diagonale, les deux images se trouveront l'une au-dessus de l'autre; de manière qu'un œil dirigé dans le plan de la coupe principale, n'en verra qu'une seule. En continuant de tourner le rhomboïde, l'image produite par la réfraction extraordinaire passera par-dessus l'autre, et s'en écartera de nouveau. Elle parviendra au maximum d'écartement lorsqu'elle sera redevenue parallèle à la grande diagonale.

b. Les faces réfringentes étant perpendiculaires à

l'axe de cristallisation.—Si on taille un rhomboïde de manière à produire à chaque sommet une facette perpendiculaire à l'axe, un point, ou une ligne d'encre, vu par les faces, ne donne qu'une seule image, tant que l'œil se trouve perpendiculairement au-dessus.

Lorsque l'œil s'écarte de la perpendiculaire, les deux images reparaissent; mais leur degré d'écartement est constant pour une même inclinaison, de quelque manière qu'on fasse tourner le cristal sur son plan. Cette circonstance n'a lieu que pour les faces perpendiculaires à l'axe.

c. Les faces réfringentes étant parallèles à l'axe de cristallisation. — Si on taille un rhomboïde de manière à produire des faces parallèles entr'elles et à l'axe du cristal, un point, ou une ligne, vu à travers ces faces, ne donne qu'une seule image, tant que l'œil se trouve perpendiculairement au-dessus; mais si l'œil s'écarte de cette position, il paraît à l'instant deux images très-nettes.

d. Conclusion des expériences précédentes. — Nous avons vu que dans la réfraction ordinaire, l'angle de réfraction dépend de la direction du rayon lumineux par rapport à la surface réfringente. Les expériences précédentes nous montrent que dans la réfraction extraordinaire, l'angle de réfraction dépend de la direction du rayon lumineux par rapport à l'axe du cristal; ainsi, lorsque le rayon est dirigé perpendiculairement ou parallèlement à l'axe, il n'y a pas de réfraction extraordinaire; mais lorsqu'il lui est incliné, la réfraction extraordinaire est plus ou moins forte, suivant le degré d'inclinaison.

e. Résultats analogues dans les autres substances douées de la double réfraction. — Dans toutes les substances douées de la double réfraction, on peut observer des phénomènes semblables; c'est-à-dire, qu'il existe toujours, dans l'intérieur du cristal, une ligne ou *axe de réfraction*, par rapport à laquelle les phénomènes se passent comme à l'égard de l'axe de cristallisation du carbonate de chaux. Ce sont ces résultats d'expériences qui servent de bases à la théorie mathématique de la double ré-

fraction. (*Voyez* Malus; théorie de la double réfraction; Paris, 1808).

(593) *Moyens de déterminer l'axe de réfraction d'une substance.* — Il ne faut pas s'attendre à pouvoir observer directement les phénomènes de la double réfraction sur tous les cristaux, parce que l'axe de réfraction peut être parallèle ou perpendiculaire à leurs faces; alors il faut tailler le cristal proposé, d'une manière ou d'un autre. Il est toujours assez facile, par quelques tâtonnemens, de trouver la position de l'axe de réfraction, dans une substance quelconque, douée de la double réfraction. Qu'on prenne, par exemple, un morceau de *sulfate de barite* diaphane, on le divisera facilement, par de légers chocs, en lames dont les faces seront parallèles entr'elles, et aux bases du solide primitif de la substance (139). Si on regarde un objet, un point d'encre tracé sur un papier, par exemple, à travers ces bases, on le verra simple; d'où on concluera que l'axe de réfraction est perpendiculaire ou parallèle aux faces proposées.

Les lames que nous venons d'obtenir se divisent encore assez facilement, suivant les pans d'un prisme droit, à base rhombe, dont les angles sont de $101^{d}32'13''$, et $78^{d}27'47''$, *fig.* 218; qu'on effectue cette division, et qu'on polisse les faces qui en résultent. Si on regarde alors le point d'encre à travers deux nouvelles faces opposées, on le verra double; d'où l'on concluera que l'axe de réfraction n'est pas perpendiculaire aux bases; car les pans du prisme lui seraient parallèles, et ne produiraient pas de réfraction extraordinaire. On est donc sûr que l'axe de réfraction est parallèle aux bases de la forme primitive; mais on ne sait pas encore quelle est sa direction.

Qu'on taille sur deux arrêtes latérales opposées du prisme, sur *a* et *a'*, ou sur *b* et *b'*, deux nouvelles faces, parallèles entr'elles et au plan des diagonales correspondantes des bases, on remarquera que le point d'encre, vu au travers de ces faces, ne donne qu'une seule image; donc l'axe de réfraction est parallèle ou perpendiculaire aux

deux faces actuelles; c'est-à-dire, qu'il est dirigé parallèlement à la petite ou à la grande diagonale de la base.

Pour décider entre ces deux cas, qu'on taille deux autres faces parallèles, l'une à l'angle solide A, *fig.* 218, l'autre à l'angle solide A' : en observant un point d'encre à travers ces deux faces, on en aura une double image. Donc, en dernier résultat, l'axe de réfraction est parallèle à la petite diagonale (*).

Si le sulfate de barite ne se divisait pas latéralement, on pourrait encore parvenir à trouver l'axe de réfraction. On taillerait des facettes latérales perpendiculaires aux deux obtenues par division, et on chercherait s'il n'y a pas certaine position où deux faces latérales parallèles donnent des images doubles; dans ce cas, on conclurait que l'axe est parallèle aux premières faces. On chercherait encore à produire sur le prisme deux faces parallèles, à travers lesquelles les objets parussent simples, et on conclurait que l'axe de réfraction est parallèle ou perpendiculaire à ces nouvelles faces. Enfin, au moyen de deux autres facettes parallèles, taillées obliquement sur les faces précédentes, on déterminerait définitivement la position de l'axe de réfraction.

On obtiendrait encore la position de l'axe, par quelques tâtonnemens de plus, si la masse diaphane ne se divisait naturellement en aucun sens, parce qu'on finirait par trouver deux faces parallèles qui ne doubleraient pas, et on partirait de là pour les recherches suivantes. C'est ainsi que, dans une masse irrégulière de cristal de roche, on peut retrouver l'axe de réfraction, et par conséquent celui de cristallisation, parce que, dans cette substance, comme dans le carbonate de chaux, les deux axes se confondent.

(*) Si on n'a pas à sa disposition un morceau de sulfate de barite laminaire, on construira avec un bouchon un prisme, comme *fig.* 218, et on y fera ensuite les facettes indiquées.

CHAPITRE VI.

Polarisation de la lumière.

(594) *Propriété particulière de la lumière qui a traversé un rhomboïde de spath d'Islande.* — Lorsqu'un rayon de lumière tombe sur un rhomboïde de spath d'Islande, il se divise en deux rayons, dont l'un est soumis à la réfraction ordinaire, l'autre à la réfraction extraordinaire. Ces rayons, après leur sortie du cristal, jouissent d'une propriété particulière qui les distingue essentiellement de la lumière directe. S'ils tombent perpendiculairement sur la surface d'un autre rhomboïde, dont la section principale soit parallèle à celle du premier, ils ne subissent aucune division. Le rayon réfracté ordinaire se réfracte ordinairement dans le second cristal, et le rayon extraordinaire s'y réfracte extraordinairement : en sorte qu'il n'y a en tout que deux rayons émergens à la sortie du second cristal.

Qu'on prenne deux rhomboïdes de carbonate de chaux, qu'on en place un sur un papier marqué d'un point d'encre, et qu'on dispose le second par-dessus : lorsque les coupes principales sont parallèles, on ne voit que deux images, qui sont seulement plus écartées l'une de l'autre.

Si on fait tourner le rhomboïde supérieur, de manière à écarter les coupes principales du parallélisme, on voit bientôt paraître deux nouvelles images, qui sont d'abord extrêmement faibles, mais qui augmentent peu-à-peu d'intensité, à mesure qu'on tourne le cristal. En même temps, les deux images primitives deviennent moins sensibles, et enfin elles disparaissent totalement lorsque les deux coupes principales se trouvent à angle droit. Alors, le rayon qui pro-

vient de la réfraction ordinaire dans le premier cristal, se réfracte extraordinairement en passant dans le second, et celui qui provient de la réfraction extraordinaire, est réfracté ordinairement. En continuant à tourner le rhomboïde, les mêmes effets se reproduisent dans tous les quadrans.

Malus a fait voir que ces effets ont lieu dans toutes les substances douées de la double réfraction, et que, pour les obtenir, il n'est pas nécessaire que les deux substances soient de même nature. En général, cette disposition de la lumière, à se réfracter en deux ou en un seul rayon, ne dépend que des positions respectives des axes de réfraction des substances qu'on emploie.

(595) *Même propriété dans la lumière réfléchie sous certains angles.* — Malus a aussi trouvé que la lumière réfléchie par diverses substances, sous des angles constans pour chacune d'elles et variables de l'une à l'autre, pouvait être modifiée de la même manière qu'en passant par un rhomboïde de carbonate de chaux. Ainsi, le rayon lumineux réfléchi par une glace sous l'angle de 35^d, étant reçu sur un rhomboïde, traverse ce cristal sans éprouver de division, lorsque le plan de réflexion est parallèle ou perpendiculaire à celui de la coupe principale. Dans le premier cas, toutes les molécules sont réfractées ordinairement; dans le second, elles sont toutes réfractées extraordinairement. Dans toutes les positions intermédiaires, une partie des molécules lumineuses sont réfractées ordinairement, l'autre extraordinairement; en sorte qu'il y a quatre rayons émergens.

Pour observer ces effets, il faut se procurer un morceau de glace non étamée, dont on noircira une face avec de l'encre de la Chine. On disposera cette glace horizontalement, le côté noirci en dessous; on placera ensuite fixement au-dessus un cylindre de carton ou de fer blanc, noirci à l'intérieur, qui fasse avec elle un angle de 35^d, *fig.* 219, de manière à ce qu'il puisse recevoir la lumière

réfléchie sous cet angle. On placera à la partie inférieure du cylindre, un diaphragme percé à son centre d'un trou *a*, de quelques millimètres et on terminera la partie supérieure par un petit rebord plan *b c*.

Ayant placé cet appareil devant une fenêtre ouverte, de manière à recevoir sur la glace la lumière des nuages, on appliquera un rhomboïde par sa base à la partie supérieure. Cela fait, on remarquera que, lorsque le plan de la coupe principale est parallèle au plan de réflexion, on ne voit qu'une seule image de la petite ouverture *a* : alors le rayon réfléchi subit, dans le rhomboïde, la réfraction ordinaire.

Lorsqu'on fait tourner le rhomboïde sur son plan, de manière à déranger le parallélisme cité, le rayon lumineux se divise en deux ; en sorte qu'il se forme, en vertu de la réfraction extraordinaire, une seconde image du trou. Cette image, d'abord extrêmement faible, devient plus intense à mesure que la coupe principale du cristal fait un plus grand angle avec le plan de réflexion : en même temps, la première s'affaiblit de plus en plus, et disparaît totalement lorsque la coupe principale est devenue perpendiculaire au plan du rayon réfléchi. En ce point, le rayon extraordinaire renferme toutes les molécules de la lumière transmise.

En continuant à tourner le rhomboïde, une partie de la lumière est de nouveau réfractée ordinairement ; l'image extraordinaire diminue d'intensité, et devient nulle quand le cristal, ayant fait une demi-révolution, a de nouveau sa section principale parallèle au plan de réflexion. En continuant de tourner le rhomboïde sur son plan, les effets se répètent dans les deux autres quadrans ; en sorte que, parvenu à 170^{d}, l'image extraordinaire se trouve seule, et au maximum d'intensité ; à 360^{d}, point de départ, c'est l'image ordinaire qu'on obtient.

(596) *Action de la lumière ainsi modifiée sur une surface réfléchissante.* — Au lieu d'un rhomboïde, qu'on se

procure un petit cylindre très-court, qui puisse entrer à frottement à la partie supérieure du cylindre, *fig.* 219, et qui soit garni d'une glace, comme la première, disposée de manière à faire un angle de 35d avec l'axe du grand cylindre. La disposition de cette pièce permet de présenter la nouvelle glace, toujours sous le même angle, à différens côtés du rayon réfléchi sur la première.

Après avoir placé cette pièce sur le cylindre, si on regarde dans la glace, on verra en général une image plus ou moins intense du trou, produite par la réflexion du rayon lumineux; mais en tournant cette pièce, sans déranger l'inclinaison de la glace sur le cylindre, l'image deviendra plus faible ou plus intense. Si elle devient plus intense, en tournant la pièce du côté opposé, elle deviendra plus faible; en continuant ce mouvement, elle finira par devenir absolument nulle : alors le plan de réflexion du rayon sur la nouvelle glace, sera perpendiculaire au plan de réflexion sur la première.

En continuant à tourner la pièce mobile, on verra l'image reparaître : elle sera d'abord très-faible, mais elle augmentera successivement d'intensité ; et elle sera au maximum, à 90d de la position précédente. En tournant encore, l'intensité de l'image diminuera successivement, et, à 180d de la première position où elle était nulle, elle sera encore nulle. Si on continue de tourner, l'image reparaîtra : elle parviendra au maximum d'intensité à 270d. En finissant de décrire la circonférence, l'intensité de l'image diminuera, et elle sera nulle à 360d, point d'où l'on est parti.

Ces phénomènes sont analogues à ceux qui ont lieu lorsqu'on présente un rhomboïde de carbonate de chaux au rayon réfléchi par la première glace. On voit que la seconde glace, étant inclinée de 35d sur l'axe du cylindre, et présentée au rayon de manière à ce que le nouveau plan de réflexion soit parallèle au premier, toute la lumière est réfléchie. Lorsque la glace est tellement tournée, que le nouveau plan de réflexion soit perpendiculaire au premier,

toute la lumière est au contraire réfractée. Voilà donc une analogie frappante avec la position de la coupe principale. Dans toutes les positions intermédiaires, la lumière est en partie réfractée, et en partie réfléchie.

Il n'y a que quelques années que ces divers phénomènes sont connus; nous les devons à Malus, qu'une mort prématurée a enlevé au milieu de ses brillantes découvertes. Il a laissé, dans l'optique, un vaste champ d'observations nouvelles, que M. Biot parcourt aujourd'hui avec sa sagacité ordinaire, et qu'il a enrichies de beaucoup de faits précieux, consignés dans le recueil de ses mémoires. Paris, 1814.

(597) *Conséquences des expériences précédentes.* — Malus a été conduit à admettre que les divers phénomènes, dont nous venons de parler, dépendent de la forme des molécules lumineuses et de la position qu'elles prennent les unes à l'égard des autres; il conçoit que les molécules lumineuses, en vertu de l'action d'un cristal doué de la double réfraction, ou d'un plan réfléchissant placé sous un certain angle, se rangent de manière à échapper toutes ensemble à la réflexion, lorsque le rayon lumineux se présente au plan réfléchissant sous un certain angle et par un certain côté, et à être, au contraire, réfléchies toutes ensemble, lorsqu'elles se présentent par un côté situé à 90^d du premier; en sorte qu'il est conduit à admettre qu'après avoir subi l'action du corps, toutes les molécules lumineuses ont leurs axes parallèles, et leurs faces homologues tournées dans le même sens. C'est à cette disposition qu'il a donné le nom de *polarisation*, en assimilant l'effet du corps sur les molécules lumineuses à celui d'un aimant qui tournerait les pôles d'une série d'aiguilles magnétiques, tous dans le même sens.

Malus a reconnu que toutes les substances capables de donner la double réfraction, polarisent la lumière par réfraction, et aussi que toutes les substances opaques ou diaphanes peuvent la polariser par réflexion; mais l'angle

sous lequel le rayon direct doit se présenter pour que cet effet ait lieu complètement, varie d'une substance à l'autre ; les corps métalliques semblent seuls être en grande partie privés de la propriété de produire cette modification.

(598) *Polarisation de la lumière qui a traversé une suite de glaces parallèles.* — Lorsque sur une glace non étamée, on fait tomber un rayon de lumière direct sous l'angle de 35^d, on obtient un rayon réfléchi polarisé. Quant à la lumière réfractée, elle n'est qu'en partie polarisée ; mais si on la fait passer à travers une suite de glaces parallèles, une partie des molécules échappées à la polarisation, est arrêtée par la seconde glace; puis, une autre partie est arrêtée à la troisième, etc. ; de sorte que si le nombre des glaces est assez considérable, on obtient un rayon réfracté entièrement polarisé ; mais il l'est précisément en sens contraire du rayon réfléchi.

Cet effet n'a pas seulement lieu pour une incidence particulière de la lumière directe ; il commence aussitôt que le rayon cesse d'être perpendiculaire à la surface réfringente : la quantité de lumière polarisée augmente à mesure que le rayon incident devient plus oblique. Enfin, si, pour une incidence quelconque, le nombre des lames réfringentes est suffisant, la lumière qui sort est entièrement polarisée.

Un phénomène qu'il faut remarquer, c'est que, sous l'incidence de 35^d, si le nombre des lames est suffisant pour procurer un rayon réfracté entièrement polarisé, on pourra ensuite l'augmenter tant qu'on voudra, sans que la lumière devienne moins intense, parce qu'alors, elle est modifiée de manière à pouvoir échapper entièrement à la réflexion continuelle et successive que ces lames tendent à produire.

On doit voir d'après ces détails, comment la réflexion partielle dont nous avons parlé n.° 580 peut avoir lieu.

CHAPITRE VII.

Mouvement des molécules lumineuses autour de leurs centres de gravité (*).

Dans tous les phénomènes que nous venons de citer, les molécules lumineuses conservent constamment les positions respectives qu'elles ont acquises; mais M. Biot a observé des circonstances où, à ce qu'il croit, ces molécules oscillent continuellement autour de leur centre de gravité ; il en a observé d'autres où elles semblent même prendre un mouvement de rotation continu sur elles-mêmes. Ces modifications de la lumière diffèrent de celles que Malus a désignées sous le nom de polarisation.

(599) *Effet d'une lame mince de mica pour partager un rayon polarisé en deux rayons colorés.* — Ce phénomène a été observé, pour la première fois, par M. Arago. Lorsqu'on a placé un rhomboïde de carbonate de chaux à la partie supérieure de la lunette, *fig.* 219, et que sa coupe principale est parallèle au plan de réflexion, la lumière passe sans subir aucun changement ; en sorte qu'il n'y a point d'image extraordinaire. Si, dans cette position, on place sous le rhomboïde une lame mince de sulfate de chaux transparent, ou de mica, etc., le rayon de lumière se divise, et on voit distinctement deux images; mais ces images, au lieu d'être blanches comme à l'ordinaire, sont teintes de couleurs complémentaires, c'est-à-dire, de couleurs qui, par leur mélange, forment du blanc. Pour s'en convain-

(*) Nous avons extrait tout ce qui suit des mémoires de M. Biot (*Recherches sur la lumière*, Paris 1814), auxquels nous renvoyons pour de plus amples détails.

cre, il suffit de faire le trou *a* du diaphragme assez grand pour que les deux images puissent se couper; alors, la partie déterminée par leur intersection, est parfaitement blanche, tandis que les parties extérieures sont teintes de couleurs différentes. Les couleurs et des teintes de couleurs que les images présentent, dépendent de l'épaisseur de la lame.

(600) *Conséquences déduites de ces phénomènes.* — C'est en étudiant ces phénomènes, que M. Biot a cru reconnaître qu'ils pouvaient être exactement représentés, en admettant que les molécules lumineuses éprouvent une modification en vertu de laquelle elles prennent un mouvement d'oscillation autour de leur centre de gravité. Lorsqu'un rayon blanc polarisé, dit-il, tombe perpendiculairement sur une lame de mica, de sulfate de chaux, ou de cristal de roche taillé parallèlement à l'axe de cristallisation, toutes les molécules lumineuses commencent par pénétrer jusqu'à une petite profondeur, sans éprouver aucune déviation sensible dans la direction de leurs axes; mais, arrivées à cette limite, qui est différente pour les particules de diverses couleurs, elles se mettent toutes à osciller autour de leur centre de gravité, comme le balancier d'une montre. Ces oscillations sont de même étendue pour les molécules lumineuses de toutes les couleurs; mais leurs vitesses sont inégales; les molécules violettes tournent plus vite que les bleues, celles-ci plus vite que les vertes, et ainsi de suite jusqu'aux rouges qui sont les plus lentes de toutes. Cette inégalité de vitesse fait qu'à chaque épaisseur de la lame, il se trouve des couleurs différentes aux deux limites de l'oscillation, et c'est ce qui produit les deux faisceaux colorés que l'on observe en analysant la lumière transmise. M. Biot parvient à mesurer l'étendue, la durée et la vitesse de ces oscillations, ainsi que la loi de la force qui les produit; mais il observe que, pour que la durée de l'oscillation soit telle que l'observation la donne, il faut qu'il y ait un certain rapport entre la grosseur des

particules lumineuses et l'intensité de la force qui les fait tourner ; c'est ainsi, dit-il, qu'il existe un rapport entre la durée des oscillations d'un pendule, sa longueur et l'intensité de l'attraction terrestre. On peut déterminer ce rapport par un calcul très-simple ; et de là, si l'intensité des forces exercées par le cristal sur la lumière, était connue, on pourrait déduire les dimensions des particules lumineuses, ou réciproquement : on pourrait de même calculer l'intensité des forces, si les dimensions étaient données. Dans les suppositions les plus vraisemblables, les dimensions que ce calcul assigne aux molécules lumineuses, sont d'une petitesse qui effraie l'imagination.

M. Biot examine aussi le cas où les lames sont présentées au rayon lumineux par un plan perpendiculaire à leur axe de réfraction. Il fait remarquer que s'il n'existait pas d'autres forces polarisantes que celles qui émanent de cet axe, de telles lames ne devraient donner aucune direction aux particules lumineuses (592 *b.*) ; or, l'expérience prouve qu'il en est autrement ; d'où M. Biot conclut qu'outre l'action de l'axe principal, il en existe une autre qu'il nomme action secondaire, et qui, dans le cristal de roche, imprime aux molécules un mouvement de rotation continue autour de leur axe de translation.

(601) *Comparaison des teintes diverses produites par des lames de différentes épaisseurs.* — M. Biot est parvenu, au moyen d'un appareil simple, à comparer entr'elles les teintes diverses produites par des lames de différentes épaisseurs. L'appareil nécessaire consiste en un plan couvert d'une étoffe noire et terne, sur lequel on place diverses lames de sulfate de chaux ou d'autres corps. On fait réfléchir sur ces lames la lumière blanche des nuées sous l'angle d'environ 35 d. On reçoit ensuite cette lumière sur un verre noirci en dessous et placé de manière à ce que les rayons polarisés ordinaires puissent échapper complètement à la réflexion. Pour cela, le verre doit faire avec le rayon un angle de 35 d, et être tellement présenté à ce

rayon, que le plan de réflexion soit perpendiculaire au plan vertical d'incidence du rayon direct sur la lame en expérience.

En regardant alors dans le verre noir, on voit la lame proposée teinte d'une couleur uniforme extrêmement vive, qui change d'intensité et de nuance, à mesure qu'on tonrne cette lame sur son plan. La lumière réfléchie devient nulle, lorsque l'axe de la lame réfléchissante coïncide avec le plan d'incidence ou lui est perpendiculaire; elle est à son *maximum* d'intensité, lorsque l'axe fait avec le plan d'incidence un angle de 45^{d}.

En disposant sur le plan noir une série de lames de différentes épaisseurs, on observera, par la réflexion sur la glace noire, une série de couleurs et de teintes extrêmement vives qu'on pourra comparer entr'elles. Cette expérience est très-agréable à voir.

Nous ne pouvons pas quitter ce sujet, sans faire remarquer qu'il arrive souvent qu'une même lame, sous une position déterminée et une épaisseur partout égale, présente des couleurs diverses dans ces différentes parties; ce qui annonce dans ces lames des positions diverses de l'axe de cristallisation. M. Biot, en me faisant voir ces phénomènes, m'engagea à examiner, sous les rapports cristallographiques, les masses d'apparences homogènes de sulfate et de carbonate de chaux; j'ai aussi examiné le feldspath, et j'ai reconnu, comme le présumait M. Biot, que souvent ces masses, qui paraissent homogènes, sont des amas confus de cristaux.

On avait observé, depuis long-temps, dans l'intérieur des masses de carbonate de chaux limpide, des plans très-vivement colorés, qu'on avait généralement attribués à des fissures remplies d'air; mais cela n'est vrai que pour les plans parallèles aux faces. Tous ceux qui se font remarquer soit parallèlement, soit perpendiculairement à l'axe et qui sont très-communs, sont dus à de véritables *hémi-*

tropies (*). Auprès de ces plans, les axes des molécules sont dirigés autrement que dans les autres parties de la masse; aussi ces plans produisent-ils sur la lumière des effets particuliers, que ne produisent pas les fissures réelles.

L'esquisse que nous venons de présenter dans ces deux chapitres, est loin d'offrir toutes les observations qui ont été faites sur ces nouvelles branches de l'optique; mais on concevra qu'obligés, par la nature de cet ouvrage, de nous restreindre extrêmement, il nous a été impossible d'y faire complètement l'analyse d'un volume in-4.° de plus de 500 pages, que M. Biot a publié sur cette matière; nous y renverrons le lecteur. (Recherches sur la lumière, Paris, 1814.)

(*) Quelques cristaux, dans diverses substances, semblent avoir été coupés en deux, et une moitié semble avoir été retournée; c'est ce renversement qu'on nomme *hémitropie*. Les cristaux primitifs de carbonate de chaux présentent plus souvent ce phénomène qu'on ne le croit habituellement. J'en ai en ce moment six exemples frappans sous les yeux, et j'en ai vu beaucoup d'autres: dans les uns, l'hémitropie est faite parallèlement à la petite diagonale; dans les autres, elle est faite parallèlement à la grande.

CHAPITRE VIII.

Dispersion de la lumière, ou lumière colorée.

Diverses expériences prouvent que la lumière blanche qui nous vient du soleil est un assemblage de molécules diversement colorées. L'opération, en vertu de laquelle ces molécules sont débrouillées et rassemblées en divers faisceaux diversement colorés, a été nommée *dispersion*.

(602) *Dispersion de la lumière par un prisme triangulaire de verre. — Du spectre solaire et de ses couleurs.* — Après avoir introduit un rayon de lumière blanche dans une chambre tenue obscure, si on le fait tomber sur un corps diaphane terminé par deux faces inclinées entr'elles AB, BC, *fig.* 220, et qu'on lui présente ensuite un carton blanc à-peu-près à 3 ou 4 mètres de distance, on obtient une très-belle image allongée, arrondie aux deux bouts, et colorée de *rouge*, *orangé*, *jaune*, *vert*, *bleu*, *indigo*, *violet*, disposés par bandes transversales. Cette image colorée prend le nom de *spectre solaire*.

Si le prisme est disposé verticalement, l'image projetée sur le carton sera horizontale; si le prisme est disposé horizontalement, elle sera verticale : ces effets tiennent à ce que la réfraction se fait dans le sens transversal du prisme.

Chacune des bandes colorées du spectre n'est pas nettement terminée; on ne sait trop dire où commence l'orangé et où finit le rouge : il en est de même de toutes les autres couleurs. En général, il y a une multitude de nuances particulières du rouge à l'orangé, de l'orangé au jaune, etc.

On peut parvenir à avoir des bandes mieux terminées, en faisant tomber les rayons de lumière sur une lentille avant de les faire tomber sur le prisme ; on obtient alors une image très-longue et très-étroite.

Cette expérience peut se faire aussi avec la lumière d'une lampe d'Argant (vulg. quinquet.) Nous voyons souvent cet effet derrière les vases de cristal dont nous nous servons habituellement, dans les cristaux des lustres, etc. : la lumière est dispersée par ces corps, et il se forme des images qui présentent diverses bandes colorées.

(603) *Réunion des rayons colorés par un verre biconvexe, pour reformer de la lumière blanche.* — Si on reçoit le faisceau de lumière ainsi dilaté sur un verre biconvexe et qu'on présente un carton au foyer, on obtiendra une image blanche et sans couleur. Si on présente le carton en deçà du foyer, on aura un petit spectre semblable au premier; mais si on place le carton au-delà du foyer et aussi à 3 ou 4 mètres de distance, on aura un spectre dont les couleurs seront disposées dans l'ordre inverse de celui du premier ; ce qui vient de ce que les rayons se croisent en passant au foyer de la lentille.

(604) *Conséquences des expériences précédentes.* — Il résulte de ces expériences, que le rayon de lumière blanche, en passant par le prisme, se décompose en rayons de diverses couleurs : c'est, comme nous l'avons dit, à cette modification de la lumière, qu'on donne le nom de *dispersion.* L'image colorée étant dilatée, nous apprend que les rayons n'ont pas tous le même degré de réfrangibilité : le rouge, se trouvant à la partie inférieure, est moins réfrangible que l'orangé, celui-ci moins que le jaune, etc. Le violet est le plus réfrangible de tous, puisqu'il se trouve à la partie supérieure.

On peut donc raisonnablement conclure, d'après ce qui précède, que la lumière du soleil et des corps lumineux, est un assemblage de différens rayons diversement réfrangibles, et dont chacun produit une nuance de couleur

particulière. Les nuances principales sont : rouge, orangé, jaune, vert, bleu, indigo, violet.

(605) *Calorique réfracté avec les rayons lumineux.— Action chimique des divers rayons colorés sur les corps.* — Le calorique est toujours mêlangé avec la lumière solaire, et se trouve de même réfracté par le prisme ; mais il est moins réfrangible que les diverses molécules lumineuses, car Herschel a trouvé que la plus grande chaleur se trouve hors du spectre au-dessous des rayons rouges, et jusqu'à une certaine distance. La chaleur va ensuite en diminuant depuis les rayons rouges jusqu'aux rayons violets.

Relativement à l'action chimique de la lumière sur les corps, Schéele a démontré que les rayons violets étaient ceux qui agissaient le plus puissamment ; Senebier a démontré que ces rayons jouissaient aussi, plus que tous les autres, de la propriété de développer la couleur verte dans les plantes.

Enfin, il résulte des expériences de Wollaston, Richter, Bockmann, qu'au-delà des rayons violets, hors du spectre, il se trouve des rayons qui ne produisent aucune chaleur, mais qui exercent sur les diverses substances, une action chimique beaucoup plus grande que les rayons violets eux-mêmes.

D'après ces différens résultats, plusieurs physiciens ont conclu que la lumière solaire était composée de trois sortes de rayons, savoir : des rayons calorifiques obscurs, des rayons lumineux, et une autre espèce de rayons obscurs, d'où dépend l'action chimique. Les premiers sont moins réfrangibles que les seconds, et ceux-ci moins que les troisièmes. On ne sait pas jusqu'à quel point cette distinction est fondée.

(606) *Variation du nombre et de l'intensité des couleurs du spectre, suivant les circonstances.* — Le spectre solaire ne présente pas toujours les sept couleurs principales que nous avons citées, parce que la lumière du soleil

éprouve diverses altérations en traversant l'atmosphère. Ces altérations dépendent de la pureté de l'air et de l'épaisseur des couches que le rayon lumineux traverse. Ordinairement à midi, dans les beaux jours où le disque du soleil est blanc, le spectre est complet; mais le soir et le matin et dans les jours brumeux, où le soleil paraît jaune, il manque les rayons pourpres et une partie des violets; lorsqu'il est orangé, ce sont les pourpres, les violets, les bleus indigo qui ont disparu; enfin, lorsque le soleil est rouge, les pourpres, les violets, les bleus indigo, les bleus, les jaunes et une partie des orangés ont disparu. Ces effets sont très-sensibles à l'horizon : on peut concevoir alors qu'il ne peut nous parvenir que les rayons qui s'écartent le moins de leur direction, c'est-à-dire, les moins réfrangibles, et que les rayons violets, indigo, etc., doivent être écartés dans les parties supérieures de l'atmosphère. Il est rare aussi que la lumière d'une lampe, en se réfractant par le prisme, produise des spectres complets : ils le sont d'autant moins que la lumière est moins blanche.

(607) *Divers degrés de réflexibilité des rayons colorés.* — L'expérience prouve que les divers rayons colorés ne sont pas tous aussi réflexibles les uns que les autres; les rayons violets et indigo, qui sont les plus réfrangibles, sont aussi les plus réflexibles. Cette réflexibilité facile peut expliquer la couleur bleue du ciel; car l'atmosphère doit réfléchir plus facilement, et par conséquent en plus grande quantité, les rayons violets, indigo et bleus, dont l'ensemble forme l'azur de la voûte céleste. A mesure qu'on s'élève dans l'atmosphère, la couleur devient moins brillante et diminue d'éclat avec la densité de l'air qui la réfléchit; le ciel paraît presque noir, lorsqu'on s'élève à une très-grande hauteur. On peut expliquer de même la teinte ordinairement bleuâtre qui couvre les montagnes situées dans le lointain; cette teinte est extrêmement remarquable dans diverses circonstances; les peintres l'ont très-bien obser-

vée, et ils ne manquent jamais, lorsqu'ils représentent des objets éloignés, d'éteindre la vivacité de la peinture par une teinte bleuâtre.

La couleur du ciel et celle des montagnes vues de loin, varient avec les circonstances locales, avec la position du soleil et la pureté de l'air.

(608) *Expériences sur les divers rayons colorés.— Couleurs complémentaires.*—On peut faire des expériences sur chacune des couleurs du spectre en particulier, en plaçant, à une certaine distance derrière le prisme, un carton peint en noir, où se trouve une petite fente horizontale très-étroite, à travers laquelle on peut faire passer telle ou telle partie du spectre. On reconnaîtra que chacune des couleurs du spectre est indécomposable, quoiqu'on la fasse passer par un second prisme, un troisième, etc.

On peut aussi, de la même manière, laisser passer plusieurs rayons, et les réunir ensuite par le moyen d'un verre biconvexe : on produit ainsi des couleurs composées, mais dont les analogues se trouvent toujours parmi les couleurs simples du spectre. Par exemple, en réunissant le jaune et le bleu, on formera du vert, le jaune et le rouge formeront de l'orangé, le rouge et le bleu formeront du violet. Ces couleurs artificielles se distinguent des naturelles par la faculté qu'elles ont de se décomposer en leurs parties constituantes, lorsqu'on les fait traverser un prisme.

En réunissant une partie des couleurs du spectre, on obtiendra donc une certaine couleur mixte; mais en réunissant aussi l'autre partie, on en aura une seconde : ces deux couleurs sont dites *complémentaires*, parce qu'étant réunies par le moyen d'un verre convexe, elles reproduisent de la lumière blanche.

(609) *Couleurs qui se manifestent autour des objets qu'on regarde à travers un prisme.* — Lorsqu'on regarde différens corps à travers un prisme, on les voit entourés de couleurs très-vives; souvent les couleurs ne paraissent

qu'aux bords opposés de l'objet, de sorte que tout le milieu se trouve blanc ; cet effet tient à ce que les spectres se superposent, et qu'alors les couleurs extrêmes, qui sont complémentaires les unes des autres, se réunissent et forment de la lumière blanche. Si l'objet qu'on regarde est grand, comme un lac, une rivière, les bandes colorées sont courbées en forme d'arc, et présentent une image assez semblable à celle de l'arc-en-ciel. Cette circonstance tient à ce que les rayons qui viennent des parties les plus éloignées, tombant plus obliquement sur le prisme, y souffrent une réfraction plus forte.

(610) *Dispersion de la lumière par les verres convexes.* — Puisque les divers rayons colorés qui composent la lumière blanche, ont divers degrés de réfrangibilité, il est clair que si un rayon de lumière tombe sur une lentille, *fig.* 221, il se formera autant de caustiques qu'il y a de rayons colorés différens : les rayons violets qui sont les plus réfrangibles, auront leur foyer quelque part en A, et les rayons rouges qui le sont le moins, l'auront quelque part en B ; les foyers des autres couleurs se formeront entre ces deux points. Il résulte de là que les images qui se peignent au foyer d'une lentille, doivent être environnées de diverses couleurs, qu'on nomme alors des *iris*. Il est encore visible que les rayons qui pénètrent par les bords, sont plus dispersés que ceux qui pénètrent par des points situés plus près du centre.

Lorsqu'on regarde un objet à travers une lentille de verre, les parties les plus éloignées sont déformées, comme nous l'avons déjà dit (575), et entourés sensiblement d'iris.

(611) *Dispersion de la lumière par réflexion.* — La lumière, en se réfléchissant à la surface des corps, peut aussi éprouver une dispersion : par exemple, en plaçant une aiguille d'acier au centre d'un cylindre court de carton blanc, dans une chambre tenue obscure, et faisant tomber un rayon de lumière solaire dessus, on voit des images colorées qui se peignent à la paroi interieure du cylindre.

La plupart des corps qui ont la propriété de réfléchir la lumière et dont la surface est courbe, sont dans le même cas. Ce qu'il y a de remarquable, c'est que souvent il ne faut pas que la surface réfléchissante soit d'un poli trop vif; par exemple, un miroir courbe, dont la surface est très-brillante et très-nette, donne à peine des images colorées, tandis que, quand la surface est un peu dépolie, couverte de poussière ou d'une gaze fine, elle en donne de très-vives.

(612) *Dispersion de la lumière en couleurs complémentaires.* — Les lames minces de diverses substances, sans en excepter les fluides aériformes, ont la propriété de décomposer la lumière en couleurs complémentaires; c'est ce qu'on voit très-facilement dans les lames minces de mica (vulg. verre de Moscovie), qui, suivant leur degré de ténuité, présentent par réflexion telle ou telle couleur, et par réfraction la couleur complémentaire. Ces couleurs ne sont jamais simples comme celles du prisme; celles qu'on obtient le plus souvent, en déchirant avec vitesse une lame de mica, sont, par réflexion, le vert d'eau et le rouge pourpre; on obtient quelquefois le jaune rougeâtre et le bleu indigo; mais cela est fort rare: les couleurs qu'on voit par réfraction sont complémentaires des autres. Ces effets sont du genre de ceux dont nous avons déjà parlé dans le chap. 7, où nous avons dit que la lumière était modifiée dans l'intérieur du corps. Si, à une certaine épaisseur, les teintes qui se produisent nous échappent ordinairement, c'est parce qu'il se réfléchit à la surface une grande quantité de lumière blanche qui nous empêche de les distinguer : c'est cette lumière dont nous nous sommes débarrassés, par le moyen d'un verre noir, dans le chap. 7.

(613) *Anneaux colorés de Newton.* — Si on applique l'un sur l'autre deux verres très-peu convexes et qu'on les presse assez fortement, on remarquera une tache noire au point de contact, et autour de cette tache diverses sé-

ries d'anneaux diversement colorés, et disposés dans l'ordre suivant, en partant du centre :

1.re série. *Noir, bleu, blanc, jaune, rouge.*
2.e serie. *Violet, bleu, vert, jaune, rouge.*
3.e série. *Pourpre, bleu, vert, jaune, rouge.*
4.e série. *Vert, rouge.*
Etc.

Si, au lieu de regarder ces verres par réflexion, on les regarde par réfraction, on aperçoit les couleurs complémentaires des précédentes, savoir :

1.re série. *Blanc, rouge jaunâtre, noir, violet, bleu.*
2.e série. *Blanc, jaune, rouge, violet, bleu.*
3.e série. *Vert, jaune, rouge, vert bleuâtre.*
4.e série. *Rouge, vert bleuâtre.*

Newton a attribué ces phénomènes à l'air qui se trouve interposé entre les deux verres. Il a calculé les épaisseurs des différentes lames d'air qui correspondent aux couleurs de chaque série, en mesurant les diamètres des anneaux ; il en a dressé une table qu'on trouvera dans son optique, et que M. Biot a rapportée dans son ouvrage.

En substituant l'eau à l'air dans l'intervalle des deux verres, les anneaux colorés qu'on obtient sont d'un diamètre plus petit, dans le rapport d'environ 7 à 8 ; d'où il résulte que les lames d'air qui leur correspondent sont plus minces que celles qui correspondaient aux anneaux formés dans l'air. Newton trouva que le rapport entre les épaisseurs d'une lame d'air et d'une lame d'eau qui réfléchissaient la même couleur, était de 4 à 3, qui est le rapport des pouvoirs réfringens n.o 544 ; d'après diverses expériences, il admit, en général, que, pour toutes les substances, le rapport entre les épaisseurs était toujours celui des pouvoirs réfringens. Il a aussi donné dans ses tables les épaisseurs d'eau et de verre qui correspondent aux couleurs de chaque série d'anneaux colorés.

Il existe cependant une expérience qui semble un peu contraire à l'opinion de Newton ; car, si après avoir dis-

posé deux verres l'un sur l'autre, et avoir examiné la largeur des anneaux, on les place sous une cloche, et qu'on fasse ensuite le vide, on ne les voit diminuer ni d'intensité, ni de diamètre. Aucun physicien moderne n'a parlé de cette expérience ; nous y avons entendu quelquefois répondre d'une manière qui semble assez plausible, mais qui, nous l'avouerons, ne nous a jamais satisfait ; savoir, qu'en calculant, d'après les résultats de Newton, la largeur que devaient avoir les anneaux, pour différens degrés de densités de l'air, on trouvait si peu de différence entre l'air le plus dense et l'air le plus rare, que l'expérience ne pouvait l'apercevoir. En effet, malgré la grande différence de densité entre l'air et l'eau, le rapport entre les diamètres des anneaux formés dans ces milieux, n'est que de 7 à 8 ; or, il y a bien plus de différence entre l'eau et l'air, qu'il n'y en a entre l'air le plus dense et l'air le plus rare. Malgré cette explication, il n'est pas moins vrai que l'expérience et même le calcul, montrent que le phénomène aurait encore lieu dans le vide le plus parfait ; d'où on serait obligé de conclure que le fluide ambiant n'a pas sur le phénomène l'influence que Newton a cru y apercevoir..

Newton a nommé *accès de facile réflexion*, la propriété qu'ont les divers rayons colorés qui composent la lumière blanche de pouvoir être réfléchie par telle ou telle épaisseur des corps. Il a nommé *accès de facile réfraction*, la propriété de ces rayons d'être réfractés à telle ou telle épaisseur.

Les substances minérales présentent souvent des phénomènes analogues aux anneaux colorés, par l'effet des fissures dont les intervalles sont occupés par un fluide aériformes. On remarque surtout ces phénomènes dans les substances lamelleuses transparentes ; on peut les provoquer facilement dans le sulfate de chaux de Montmartre, par exemple, en déterminant une fissure par le moyen d'un léger choc, ou en soulevant légèrement les lames avec un couteau : les substances qui présentent ces reflets sont dites *irisées*.

L'opale est une des substances les plus remarquables par les beaux reflets de diverses couleurs qu'elle lance de tous côtés : on attribue ordinairement ces reflets à des fissures ; mais il est infiniment probable qu'ils sont dus à la forme et à la disposition des particules intégrantes de cette pierre ; car il ne nous paraît pas qu'elle soit autant remplie de fissures, qu'il en faudrait supposer pour produire ces iris. On remarque des reflets analogues sur diverses espèces de coquilles, sur la nacre de perle, par exemple, qui vient le plus souvent de la coquille nommée *avicule perliere*, ou *moule mère-perle*, parce que c'est principalement dans cette coquille qu'on trouve les *perles* qu'on recherche avec tant d'empressement, et qu'on paie si cher, lorsqu'elles sont d'une certaine grosseur.

La nacre de perle présente un phénomène fort remarquable qui a été découvert, je crois, par M. Biot : lorsqu'on regarde par réflexion la lumière d'une bougie sur une lame de cette substance, on voit deux images diversement colorées, et lorsqu'on applique une telle lame sur de la cire à cacheter noire fondue, cette cire acquière aussi la propriété de réfléchir, sur la surface plane qu'on a produite, deux images de la bougie diversement colorées.

On remarque aussi de beaux effets d'anneaux colorés, en jetant une goutte d'huile sur une masse d'eau d'une certaine étendue (305). On les remarque également sur les bulles de savon, etc.

De l'Arc-en-ciel.

(614) Le beau phénomène de l'arc-en-ciel s'explique complètement par la dispersion de la lumière, les réfractions et réflexions qu'elle subit dans les nuages sur lesquels le soleil donne. L'arc-en-ciel n'a jamais lieu que quand un nuage opposé au soleil luisant, se résout en pluie ; d'où il suit que l'observateur a toujours le dos tourné au soleil. Quelquefois on n'aperçoit qu'un seul arc ; mais, le plus ordinairement, on en aperçoit deux, l'un intérieur dont les couleurs sont vives, l'autre extérieur dont les couleurs sont

plus pâles : tous deux présentent les couleurs du prisme, c'est-à-dire, le rouge, l'orangé, le jaune, le vert, le bleu, l'indigo, le violet. Dans l'arc intérieur, le rouge est la couleur la plus élevée ; dans l'arc extérieur, c'est le violet. On aperçoit quelquefois trois arcs ; mais cette circonstance est fort rare : la théorie indique qu'on en pourrait voir un plus grand nombre ; mais leurs couleurs sont trop faibles pour être perceptibles.

L'arc-en-ciel est plus ou moins apparent, suivant que la partie du ciel, située derrière l'endroit où il se forme, est plus ou moins noire, de manière à faire ressortir plus ou moins les couleurs et à servir ainsi de fond au tableau. Sa grandeur et sa position dépendent de la hauteur du soleil, de la position du spectateur, et de la figure du terrein enveloppé par les nuages. C'est en pleine mer, et lorsque le soleil est élevé au-dessus de l'horizon, qu'on voit les plus beaux arcs-en-ciel. En observant des chutes d'eau, des jets d'eau un peu volumineux, lorsqu'on a le soleil derrière le dos, on remarque souvent des phénomènes semblables à ceux de l'arc-en-ciel.

Pour donner une idée de la manière dont l'arc-en-ciel est produit, concevons un rayon lumineux qui tombe sur une goutte d'eau ; il se réfractera en passant de l'air dans le liquide et se décomposera en rayons colorés, rouges, orangés, jaunes, etc. Chacun de ces rayons, après avoir traversé la goutte d'eau, sera en partie réfléchi à la surface concave du globule ; il le traversera alors de nouveau dans un autre sens et se présentera pour sortir en un autre point. Là, une partie repassera effectivement dans l'air et une autre sera encore réfléchie et reportée dans l'intérieur du globule, etc., etc. Il pourra y avoir une multitude de ces réflexions successives ; mais, à chacune d'elles, la lumière réfléchie sera successivement moins intense, parce qu'il en repassera toujours une certaine quantité dans l'air.

Si le spectateur était placé de manière à ce que le nuage

se trouvât entre le soleil et lui, il ne pourrait apercevoir la lumière colorée, parce qu'elle serait comme absorbée par la lumière blanche et vive du soleil. Mais, s'il est tellement placé, que le nuage soit devant lui, et le soleil derrière, il pourra recevoir les rayons colorés après une première ou une seconde, etc. réflexion : c'est par une première réflexion que le spectateur voit l'arc intérieur dont les couleurs sont les plus vives; c'est par une seconde réflexion qu'il voit l'arc extérieur qui est moins intense que l'autre, et dont l'ordre des couleurs est inverse à cause de la double réflexion. Il pourrait voir un troisième arc plus faible encore que le second, parce qu'il y aurait une triple réflexion des rayons lumineux colorés; l'ordre des couleurs de ce nouvel arc serait le même que celui du premier : il pourrait y avoir un quatrième, un cinquième, etc. arc, par 4, 5, etc. réflexions; mais leurs couleurs devenant de plus en plus faibles, on ne saurait les distinguer.

Ce que nous disons pour une goutte d'eau, se répète dans toutes celles sur lesquelles la lumière peut tomber. Tous les globules dont les centres se trouvent sur une même ligne, produisent une seule sensation, plus ou moins forte suivant le nombre des particules globuleuses réfringentes.

Du prisme achromatique (*).

(615) Si on compose un prisme *abc*, *fig.* 222, de deux prismes *acd*, *dcb*, de même matière, et qu'on fasse tomber dessus un rayon de lumière, il se formera derrière, une image du spectre; mais les couleurs y seront moins distinctes qu'elles ne l'auraient été, si on eût employé seulement le prisme *acd*, parce que la lumière est

(*) Achromatique est dérivé de α privatif, et de χρῶμα *couleur*; c'est un prisme qui ne produit pas les couleurs du spectre.

un peu recomposée en passant par le second prisme ; elle le serait totalement, si *bc* était parallèle à *ab* ; parce qu'alors, le second prisme aurait la même faculté dispersive que le premier, et qu'il se trouve placé en sens inverse.

Si, au lieu d'employer pour le prisme *dbc*, une substance semblable à celle dont est composée *adc*, on emploie une substance dont la faculté dispersive soit beaucoup plus forte, et telle que les rayons dispersés en passant par le premier prisme soient rassemblés par le second, on aura un *prisme achromatique.* Si, en même temps, la force réfringente du prisme *dbc*, est la même que celle du prisme *adc*, la réfraction ne sera pas corrigée ; mais si la force réfringente de *dbc* est, au contraire, plus forte, la réfraction sera un peu corrigée.

Si, pour les substances diverses, la faculté dispersive et la force réfringente croissaient et diminuaient dans le même rapport, comme le croyait Newton d'après quelques expériences qui se sont trouvées inexactes (*), la réfraction serait corrigée en même temps que la dispersion, et le rayon émergent serait parallèle au rayon incident (556).

Il est, à la rigueur, impossible de former un prisme achromatique, parce que la faculté dispersive d'un corps n'est pas le même pour tous les rayons colorés ; mais on peut achromatiser par rapport à deux couleurs, et on prend ordinairement les extrêmes, comme le rouge et le violet ou le bleu.

Lentille achromatique.

(616) Il serait impossible, dans l'hypothèse de Newton (615), d'achromatiser une lentille ; car, si on formait

---

(*) Il se passa près d'un demi-siècle avant qu'on pensât que ces expériences pouvaient être fausses ; tant il est difficile, dit M. Haüy, de démêler une erreur perdue dans une foule de vérités importantes.

deux lentilles, l'une convexe, l'autre concave, de manière à ce que les rayons pussent sortir incolores après les avoir traversées, ces rayons sortiraient parallèles à leur direction primitive et divergeraient alors comme s'ils partaient du point rayonnant; on ne pourrait donc pas les réunir en un foyer.

Heureusement les expériences de Newton se trouvèrent inexactes : Dollond, savant opticien anglais, reconnut que les forces réfringentes des substances étaient très-loin d'être assujetties à la même loi que leurs facultés dispersives ; de là, résulte la possibilité de faire une lentille achromatique. Dollond découvrit, parmi les verres qu'on fabriquait en Angleterre, deux espèces, le *krown-glass* ou verre de nos glaces et le *flingt-glass* qui est analogue à nos cristaux et remarquable par les belles iris qu'il produit, qui lui presentèrent les résultats les plus satisfaisans.

La lentille achromatique est composée d'un verre concave de flingt-glass, et de deux verres convexes de krown-glass. Le plus ordinairement aujourd'hui, on n'emploie que deux verres, l'un en partie concave de flingt-glass, l'autre biconvexe de krown-glass. Ces verres ont des courbures différentes et sont travaillés de manière à ce qu'après la réfraction, les rayons rouges et les violets puissent se réunir en un point. Les rayons intermédiaires s'y réunissent à-peu-près; mais on conçoit qu'il est impossible de les y réunir tous rigoureusement.

Le rayon de lumière EF, *fig.* 223, qui tombe sur la lentille, passe sans éprouver d'altération ; mais le rayon HG éprouve une dispersion ; le rayon violet, qui est le plus réfrangible, suit une droite comme HI, et le rayon rouge suit la droite HK. Le verre concave de flingt-glass écarte ces rayons de l'axe EF ; le rouge prend la direction KL, le violet la direction IN, à cause de la force réfrangible : en repassant dans l'air, le rayon rouge prend la direction LF et le violet la direction NF ; ils se réunissent tous deux au point F.

CHAPITRE IX.

De l'opacité et de la colorisation des corps.

(617) *Circonstances d'où dépend l'opacité.* — Un corps est parfaitement opaque, dit Bouguer, quand il ne laisse passer que la trillionième partie de la lumière qui nous vient du soleil. Nous avons vu qu'un corps limpide, tel que du verre d'une certaine épaisseur, pouvait nous cacher absolument la lumière venue d'un corps lumineux. Il suit de là que l'opacité tient souvent à l'épaisseur des corps; effectivement les métaux comme l'or, le cuivre, deviennent translucides, lorsqu'ils sont réduits à une épaisseur extrêmement mince; ils deviendraient transparens, si on pouvait les amincir encore.

L'opacité dépend souvent aussi de la disposition des molécules des corps; c'est ainsi que les substances minérales fibreuses, à fibres longitudinales ou à fibrescontournées, sont le plus souvent opaques, et surtout les dernières.

L'opacité peut encore tenir à ce qu'un corps est composé de particules hétérogènes qui, ayant des densités différentes, font subir à la lumière des réflexions et des réfractions dans toute sorte de sens. C'est ce qu'on peut vérifier aisément comme il suit. Après avoir mis de l'eau dans un tube de verre, on verse par-dessus de l'huile de térébenthine : ce dernier liquide reste au-dessus du premier comme plus léger, et tous deux conservent leur transparence; mais si on agite le tube, bientôt les deux liqueurs se mêlent et ne forment qu'un tout, composé de particules de densités différentes, qui est blanc et opaque ou légèrement translucide.

Il existe une substance minérale (l'hydrophane) qui est opaque lorsqu'elle est sèche, et qui devient transparente après un séjour plus ou moins long dans l'eau; il s'en dégage alors une multitude de petites bulles d'air. Il est évident que l'opacité était due à l'interposition de l'air entre les molécules de la matière de la substance, et que la transparence acquise est due à ce que l'eau qu'on a substituée est plus dense, et approche plus par là des molécules propres de la pierre.

Si le verre pilé est blanc, c'est encore parce que l'air est interposé entre les particules de la matière. Si on jette de l'eau sur cette poudre, elle reprend sa transparence. L'eau qui est battue par sa chute, ou par le choc qu'elle éprouve de la part d'un obstacle quelconque, doit sa blancheur à l'interposition de l'air entre ses particules.

L'opacité peut aussi résulter de ce que toute la lumière qui tombe sur un corps est réfléchie à sa surface, ou bien de ce qu'elle est absorbée par ce corps. Par exemple, il est évident que, si, sans éprouver de dispersion, la lumière est entièrement réfléchie à la surface d'un corps, ce corps paraîtra blanc par réflexion, opaque et noir par réfraction; et qu'au contraire, si la lumière est entièrement réfractée par un corps, ce corps paraîtra noir par réflexion, limpide, blanc par réfraction, à moins que son épaisseur ne soit trop considérable, ou que ce corps n'ait la propriété d'absorber la lumière par une sorte d'action chimique.

La limpidité d'un corps ne se manifeste par réflexion que parce que la lumière, réfractée dans ce corps, se réfléchit à la dernière surface, et se trouve reportée à notre œil. Elle est aussi réfléchie en revenant à la surface supérieure, et est alors reportée dans l'intérieur de la masse qui, par ce moyen, se trouve éclairée.

On trouve rarement des corps qui réfléchissent ou qui réfractent toute la lumière qui tombe sur eux; mais le plus souvent, les corps la réfléchissent en partie, et la réfractent en partie, ou bien encore l'absorbent en partie.

La lumière réfléchie ou réfractée par différens corps étant soumise à l'action d'un prisme, présente le plus souvent un spectre, comme ferait la lumière qui vient directement du soleil.

(618) *Circonstances particulières de la colorisation des corps.* — La lumière, ou une portion de la lumière, qui tombe sur certains corps, se décompose; dès lors, une partie des rayons colorés est réfléchie, et l'autre est réfractée; mais il peut arriver plusieurs cas.

1.° Il y a des corps dont la couleur, vue par réfraction, est complémentaire de celle qu'on observe par réflexion: telles sont les lames minces de mica, d'air, d'eau, etc.;

2.° Dans certains corps, les couleurs, vues par réflexion et par réfraction, ne sont pas exactement complémentaires; c'est ce qui arrive dans l'infusion de bois néphrétique, l'infusion alcoolique de diverses substances, etc.;

3.° Il y a des corps qui présentent sensiblement la même couleur par réflexion et par réfraction; c'est ce qui se voit dans les feuilles des végétaux, dans les étoffes minces. Si les étoffes sont assez épaisses pour réduire à zéro l'intensité de la lumière qui les traverse, elles ne paraissent plus colorées que par réflexion : tel est le cas des draps;

4.° Un grand nombre de corps sont colorés par réflexion seulement, et opaques par réfraction : tels sont un grand nombre de minéraux, les couleurs qu'on emploie en peinture, etc.;

5.° Enfin, un grand nombre de corps sont colorés par réfraction, et noirs par réflexion : tel est le cas d'un grand nombre de liqueurs et d'autres corps, qui ne paraissent colorés par réflexion que parce que la lumière réfractée est réfléchie sur des parties hétérogènes, qui se trouvent dans le liquide, ou sur des surfaces réfléchissantes qui se trouvent derrière. Si on filtre ces liqueurs, et qu'on les enferme dans des vases dont les parois soient noires et capables d'absorber toute la lumière réfractée, elles paraîtront noires. On peut, dans le même cas, envelopper les

corps solides dans des étoffes noires, à l'exception de la face par laquelle la lumière doit pénétrer.

Le vin, enfermé dans une tasse blanche, nous paraît d'une belle couleur rouge, parce que la lumière réfractée se réfléchit sur les parois de la tasse, et se trouve reportée à notre œil. Si on enferme ce même vin dans une tasse noire, il nous paraîtra brun ou noir, parce que la lumière réfractée se trouvera absorbée.

On fait paraître par réflexion la couleur des pierres fines et des verres transparens colorés, en mettant derrière une surface réfléchissante. Cette couleur par réfraction, que l'art change ici en couleur par réflexion, est produite dans un grand nombre de circonstances, soit par les couleurs transparentes qu'on étend sur le papier, ou dans lesquelles on plonge les étoffes blanches pour les teindre, soit par les liqueurs colorées qu'on précipite par l'alumine (terre blanche, bâse de l'alun), pour former les laques qu'on emploie dans la peinture.

(619) *Explication de la colorisation des corps.*—Newton explique les phénomènes de la colorisation des corps par la propriété des molécules colorées de la lumière, de pouvoir être réfléchies ou réfractées à des épaisseurs différentes, c'est-à-dire, par les accès de facile réflexion ou de facile réfraction (613). Si l'épaisseur des molécules des corps est telle que les rayons de toute espèce puissent être réfléchis, le corps paraîtra blanc. Si les particules sont d'une telle épaisseur qu'il n'y ait de réfléchis que les rayons colorés de telle ou telle espèce, le corps paraîtra coloré.

Cette hypothèse s'adapte parfaitement à tous les corps qui présentent une couleur par réflexion, et la couleur complémentaire par réfraction. Elle peut aussi expliquer complètement les couleurs changeantes de certains corps, comme la nacre de perle, les plumes de certains oiseaux, etc., suivant qu'on les regarde sous tel ou tel degré d'obliquité, puisqu'alors les épaisseurs des molécu-

les, sous lesquelles on voit ces corps, varient en même temps.

Cette hypothèse de Newton s'adapte difficilement aux autres cas que nous avons cités (2.°, 3.°, 4.°, 5.°). Aussi plusieurs physiciens, d'un mérite distingué, ont alors admis, pour expliquer ces phénomènes, que les corps exercent sur les rayons colorés une action chimique, en vertu de laquelle ils absorbent tels ou tels rayons et ne laissent apercevoir que les autres.

(629) *Couleurs accidentelles.* — On nomme ainsi les couleurs dont l'idée peut naître ou se conserver, sans la présence de l'objet qui les excite.

Si on regarde fixement et long-temps un petit carré de papier d'une certaine couleur, sur un fond blanc, on voit ensuite, en jetant les yeux sur un papier blanc, un petit carré de même grandeur, qui se trouve teint de la couleur complémentaire. C'est ainsi qu'un petit carré de papier bleu produit le rouge accidentel; le vert produit le pourpre, etc. Si on regarde une petite bande de papier blanc sur un fond de couleur, et qu'on porte ensuite la vue sur un papier blanc, on a la sensation d'une petite bande colorée, à-peu-près de la couleur du fond.

Si on place entre l'œil et la lumière un morceau de papier coloré, et par-dessus du côté de l'œil une bande très-étroite de papier blanc, cette petite bande prend à l'instant la couleur complémentaire du fond. La teinte en est peu intense, mais cependant très-distincte, surtout si on fait aller et venir cette petite bande avec une certaine vitesse.

Les mêmes expériences s'étendent au cas où la petite bande de papier a elle-même une couleur déterminée, mais différente du fond. Ainsi, une petite bande de papier vert, sur un fond jaune, paraît bleue : une petite bande de papier violet, sur un fond bleu, paraît rouge, etc.

On voit ici que la couleur accidentelle dépend de ce que la couleur de la petite bande est un mélange de plu-

sieurs couleurs, dont l'une est en même temps celle du fond : celle-ci se trouve comme absorbée, et les autres seules paraissent. La même chose n'arriverait pas sans doute si les couleurs qu'on place l'une sur l'autre étaient simples.

M. Laplace attribue ces phénomènes à une disposition de l'œil, en vertu de laquelle les rayons analogues à ceux du fond, qui se trouvent dans la lumière du second corps, seraient comme attirés par ceux dont l'œil a reçu une forte impression; dès lors il n'y a que la couleur produite par l'ensemble des autres rayons qui puisse être visible.

CHAPITRE X.

Des instrumens d'optique.

(621) On nomme *instrumens dioptriques* ceux qui ne renferment que des verres, et *instrumens catadioptriques* ceux qui renferment des verres et des miroirs. Le verre ou le miroir, qui est tourné vers l'objet qu'on veut examiner, se nomme *objectif*; celui qui est vers l'œil se nomme *oculaire*.

La perfection des instrumens dépend de celle des verres et des miroirs qu'on emploie, et de la disposition exacte de leurs axes sur une même ligne droite. Les différens verres doivent être placés les uns derrière les autres, à des distances exactement calculées, et qui dépendent de leur foyer. L'œil même doit avoir sa place déterminée. L'oculaire est ordinairement renfermé dans un tube, et on peut varier sa distance à l'objectif, selon les besoins de l'observateur. Toutes ces circonstances se déterminent mathématiquement; mais ici nous examinerons seulement les effets physiques qui résultent des propriétés des verres et des miroirs qu'on emploie.

Les principaux obstacles qui se présentent dans la construction des lunettes, viennent de l'aberration de sphéricité, et de l'aberration de réfrangibilité. On remédie au premier obstacle : 1.° en donnant peu d'ouverture à la surface de l'objectif; 2.° en mettant à l'endroit du foyer un diaphragme plan et opaque, percé d'un trou, et qui ne laisse passer que les rayons utiles ; 3.° on peint l'intérieur des tuyaux en noir, pour absorber les rayons qui viennent des objets fort écartés de l'axe.

Quant à l'aberration de réfrangibilité, nous avons vu comment se compose l'objectif achromatique (606).

Du Microscope.

(622) *Le microscope simple* n'est qu'une lentille convexe qui prend alors le nom de loupe. (*Voyez* n.° 549.)

Le microscope composé est un assemblage de plusieurs verres convexes. L'objectif est une petite lentille d'un foyer très-court. Il y a un ou plusieurs oculaires. Le microscope à trois verres, *fig.* 224, est celui dont on fait le plus d'usage. *Les microscopes de Delbarre*, imaginés par Euler, ont cinq oculaires, et sont supérieurs à tous les autres.

Pour se servir du microscope, on place l'objet AB, *fig.* 224, un peu au-delà de l'objectif; il en part alors des rayons qui iraient peindre une image en A' B'; mais la lentille EF diminue la convergence de ces rayons; d'où il résulte que l'image vient se peindre en A" B". Cette image devient l'objet immédiat de la vision; l'œil la voit à travers la lentille GH, et par conséquent en A"' B"', et très-amplifiée.

Les microscopes ne sont connus que depuis environ 1620. Ces instrumens ont fait faire de grands progrès à l'histoire naturelle, en nous montrant des animaux qui sans cela auraient toujours échappé à nos recherches: tels sont les animaux qu'on trouve en abondance dans les infusions végétales.

Des Télescopes.

(623) L'invention des télescopes date de 1590; on l'attribue à Zacharie Jansen, lunetier de Middelbourg, qui, lui-même, la dut au hasard. Ces instrumens ont été perfectionnés par Galilée et Simon Marius qui firent les pre-

miers de longs télescopes pour les observations astronomiques.

La *lunette astronomique*, *fig.* 225, fut inventée par Képler ; elle renferme deux verres convexes (un objectif et un oculaire), dont les foyers se trouvent en un même point. L'oculaire a plus de convexité que l'objectif.

Lorsque l'objet qu'on regarde est très-loin de l'objectif, comme un astre, les rayons qui en partent sont sensiblement parallèles. Soit l'objet AB, *fig.* 225, il s'en peindra au foyer des rayons parallèles en A'B' une image renversée ; l'œil verra cette image à travers la seconde lentille, et, par conséquent, augmentée. On prouve par le calcul, que la grandeur de l'image est à la grandeur réelle de l'objet, comme la distance focale de l'objectif est à celle de l'oculaire. Il suit de là qu'on gagnerait du côté des dimensions, en employant des oculaires d'un foyer très-court ; mais alors on perdrait du côté de la netteté.

La lunette terrestre, *fig.* 226, fut inventée par Rheite. Elle a deux oculaires de plus que la lunette astronomique ; leur objet est de redresser l'image qui, dans la lunette précédente, était renversée ; ce qui devenait un inconvénient pour les observations terrestres. L'étude de la figure fera assez connaître la marche des rayons.

Quand on emploie un objectif simple, les images sont environnées d'iris qui en altère la netteté ; mais, depuis la découverte de Dollon, on acromatise l'objectif, et alors les lunettes prennent le surnom d'*achromatiques*.

Télescope de Newton.

(624) Newton, pour éviter l'aberration de réfrangibilité, a imaginé un télescope dans lequel il a substitué un miroir concave métallique à l'objectif. Ce miroir CD, *fig.* 227, reçoit les rayons partis de l'objet qu'on examine, les rend convergens, et en formerait en *a b* une image ren-

versée ; mais un miroir plan EF, incliné de 45d, recueille cette image et la transporte en *cd* au foyer d'une lentille convexe qui rassemble les rayons et les porte à l'œil de l'observateur.

On a modifié ce télescope de différentes manières ; celui de Lemaire, que Herschel a construit sur de très-grandes dimensions, en est une modification dans laquelle on a supprimé le miroir plan.

Micromètre de Rochon.

(625) Cet instrument, destiné à mesurer les petits angles, est une application des effets de la double réfraction : il consiste en un double prisme de cristal de roche ou de carbonate de chaux limpide (spath d'Islande), qui fait voir les images doubles. On l'adapte dans une lunette sur la longueur de laquelle il peut se mouvoir ; les deux images sont plus ou moins écartées suivant la place que le micromètre occupe, et on peut à volonté les faire toucher. Une échelle, adaptée sur la lunette, indique un nombre de degrés par lequel on peut avoir la distance, si on connaît la grandeur de l'objet, ou la grandeur si on connaît la distance, ou enfin la grandeur et la distance au moyen de deux stations.

Chambre obscure.

(626) Nous avons essentiellement décrit la chambre obscure sous le n.° 549. L'image qui se peint sur le mur est renversée ; mais on peut la voir droite, en la regardant dans un miroir posé horizontalement.

On fait des chambres obscures portatives. Les plus simples offrent une boîte carrée ouverte par-devant, *fig.* 228. IK est un tube au fond duquel est une lentille OK dont le foyer se trouve sur le fond BC où se peint l'image. GH est un miroir plan destiné à réfléchir les rayons sur la lentille.

La chambre obscure, telle qu'on la construit ordinaire-

ment, a un grand défaut ; c'est que la lentille dont on se sert, déforme les objets les plus éloignés du tableau, parce que les rayons qu'ils envoient étant très-obliques, subissent une très-grande réfraction ; il en résulte que les images sont irrégulières. M. Wollaston a appliqué à la chambre obscure un verre périscopique qui corrige en grande partie cet inconvénient.

Chambre claire.

(627) *Camera lucida* est le nom donné par M. Wollaston à un petit instrument extrêmement ingénieux, de son invention ; voici, comme le dit ce savant physicien, le principe qui l'a dirigé. Si on prend un carreau de verre plan, qu'on l'incline sur soi de 45 d, on verra par réflexion tous les objets qui se trouvent au-devant; mais, en même temps, on verra à travers le verre les objets qui se trouvent dessous ; s'il s'y trouve une feuille de papier blanc, les images des objets antérieurs se projetteront sur elle, et on pourra avec un crayon en tracer une esquisse qui se trouvera renversée par rapport à l'observateur.

Pour que ce dessin fût droit, il faudrait qu'il eût deux réflexions de la lumière ; c'est ce qu'on peut se procurer en plaçant d'abord en avant une glace étamée, inclinée à l'horizon de 22 d 30', telle que *a b*, *fig.* 229, et une autre glace *bc*, non étamée qui fasse avec la première un angle *abc* de 135 d. Le rayon lumineux *de* qui arrive horizontalement sur la glace *ab*, est réfléchi par elle et porté en *f* sur la glace *bc* qui, à son tour, le réfléchit suivant *fg* ; il en arrive de même au rayon *d'e'*. L'image de l'objet *d d'* est alors projetée en *δ δ'* sur le papier AB, et, par conséquent, se trouve droite par rapport à l'observateur.

Au lieu de cet appareil, M. Wollaston emploie un prisme de verre AB, *fig.* 230, dont on voit la coupe transversale, *fig.* 231, qui produit absolument le même

effet. L'angle d est droit, et l'angle abc est de 135^{d}. Le rayon de lumière horizontal fg pénètre sans réfraction dans le prisme et se réfléchit à la surface d'émergence bc, comme sur un miroir ; de là, il est porté en h et de h en e à l'œil de l'observateur. Comme on peut approcher l'œil du plan ad autant qu'on voudra, on peut, sans nuire à l'effet, réduire beaucoup le volume du prisme : aussi, M. Wollaston l'a-t-il réduit aux dimensions que représentent la figure 230.

Il est facile de voir qu'en employant ce prisme, si l'œil donne en plein sur la face ad, il ne pourra voir le papier disposé à quelque distance au-dessous, parce que la plus grande partie des rayons qui en viennent tombent obliquement sur les faces ab, bc, et sont réfractés par le verre, de manière à ne pouvoir arriver à l'œil de l'observateur. Il n'y a qu'un seul moyen de voir le papier, c'est de reculer l'œil jusqu'à ce qu'il n'y ait qu'une portion de la prunelle interceptée par le bord du prisme ; cette portion reçoit l'image des objets placés devant la face dc, et l'autre reçoit les rayons partis du papier et du crayon. Après quelques tâtonnemens, on parviendra à placer son œil de manière à voir avec un égal degré de clarté le papier, le crayon et l'image des objets qu'on veut dessiner. Pour trouver plus facilement la position de l'œil, on peut se servir d'un trou percé dans une petite plaque de cuivre qu'on peut à volonté reculer en avant ou en arrière.

L'instrument est en outre accompagné de deux verres périscopiques, qui servent à égaliser le degré de clarté de l'image et du papier. C'est à l'observateur à se servir de l'un ou de l'autre de ces verres suivant sa vue.

Il faut être un peu exercé pour pouvoir se servir avantageusement de ce petit instrument qui peut être extrêmement utile dans beaucoup de cas.

Le prisme de M. Wollaston se dispose horizontalement au moyen d'un axe qui s'adapte à une tige verticale, *fig.* 230, qu'on fixe à une table par le moyen d'une vis.

Lanterne magique.

(628) Cet instrument est dû au père Kircher, et quoiqu'il soit actuellement extrêmement répandu, et devenu, pour ainsi dire, populaire; il n'en est pas moins charmant et extrêmement ingénieux.

ABCD, *fig.* 232, est une boîte de fer-blanc; EF est un miroir concave au foyer duquel est une lampe; GH est une lentille qui reçoit la lumière de la lampe, et celle qui est réfléchie par le miroir: on place au-devant de cette lentille des verres sur lesquelles sont peints différens sujets qui dès lors se trouvent éclairés. IK est une autre lentille sur laquelle tombent les rayons partis de l'objet; LM est une cloison percée d'un trou par où passe la lumière; NP est une troisième lentille: les rayons qui en sortent vont peindre l'objet en XYZ sur une toile.

La troisième lentille NP est mobile et peut s'éloigner ou se rapprocher de la seconde; au moyen de cela on peut toujours rendre l'image XYZ distincte sur le plan. Pour que l'image soit droite en XZ, il faut mettre l'objet renversé en GH.

L'appartement est privé de toute lumière, et il n'en vient que par le verre NP. Les gens qui montrent ordinairement la lanterne magique, choisissent pour plan de projection une des murailles de la salle, sur laquelle ils font quelquefois tendre un drap. Dans ce cas, le spectateur se trouve dans le même lieu que l'instrument. Mais pour faire l'expérience d'une manière plus agréable, il faut tendre une toile au milieu d'une chambre et placer les spectateurs d'un côté et l'instrument de l'autre.

Fantasmagorie. (*)

(629) Cet instrument n'est qu'une légère modification de la lanterne magique ; mais il produit des effets beaucoup plus imposans.

Une toile gommée est tendue devant le spectateur ; elle ne reçoit de lumière que de l'appareil qui est situé derrière , et que le spectateur ne voit pas. C'est sur cette toile que se peignent les figures qui , pour l'ordinaire , sont des spectres ou des objets effrayans.

Un spectre , qui paraît d'abord extrêmement petit , s'accroît très-rapidement , ce qui produit le même effet que s'il s'avançait à grand pas vers le spectateur.

L'appareil est monté sur des roulettes garnies de draps pour éviter le bruit. La lentille NP se meut facilement au moyen d'une crémaillère et d'une petite manivelle. Supposons que l'image soit vue sous la grandeur XZ, *fig.* 232, et qu'elle soit dessinée distinctement ; si on veut tout-à-coup la rendre plus petite , il suffira de rapprocher l'instrument de la toile ; mais les foyers des différens points de l'objet ne seront plus sur cette toile , et dès lors , l'image sera confuse. Il suffira , pour la rendre nette, d'éloigner la lentille NP de celle IK. C'est à quoi on parvient promptement au moyen de la crémaillère et de la manivelle dont nous avons parlé.

Réciproquement, l'objet étant petit , pour le faire devenir grand , il faudra éloigner l'appareil de la toile, et rapprocher en même temps la lentille NP de celle IK.

Il faut beaucoup d'habitude pour manier cet instrument avec avantage.

(*) Fantasmagorie est dérivé de *φάντασμα fantôme* , et de *ἀγορὰ assemblée, assemblée de fantômes* ; parce qu'on y représente souvent des spectres et des fantômes.

Microscope solaire.

(630) Cet instrument a beaucoup de rapport avec la lanterne magique; il a été inventé par Liéberkuyn. On dirige un rayon solaire sur une lentille C, au moyen d'un miroir AB, *fig.* 233, placé en dehors au volet d'une fenêtre. On dispose en D une lame de verre sur laquelle on place l'objet qu'on veut examiner. Au foyer E de la première lentille, s'en trouve une autre petite dans laquelle les rayons se croisent et vont ensuite, en divergeant, peindre sur une toile GH, tendue au devant, une image renversée et très-amplifiée de l'objet : une puce, par exemple, paraît grosse comme un mouton.

Œpinus a perfectionné cet instrument et l'a rendu propre à représenter des corps opaques. Un miroir concave dirige les rayons solaires sur une lentille ; ces rayons vont ensuite en convergeant sur un miroir plan, d'où ils sont réfléchis sur une lame d'ébène qui sert de porte-objet et qui, par ce moyen se trouve fortement éclairée : les rayons se portent ensuite sur une lentille d'où ils vont, en divergeant, peindre une image amplifiée sur la toile.

CHAPITRE XI.

Des sources de la lumière.

(631) Le soleil est le foyer principal de la lumière que nous recevons ici bas. Les astres qui circulent autour de lui ne sont point lumineux, mais ils réfléchisent la lumière qui leur est envoyée ; c'est ainsi, par exemple, que la lune est éclairée par la lumière solaire et nous paraît lumineuse, parce qu'elle réfléchit sur nous la lumière qu'elle a reçue. Les planètes nous paraissent lumineuses de la même manière. Les étoiles, qui paraissent être des soleils particuliers destinés à vivifier des mondes, quoique lumineuses par elles-mêmes, sont trop éloignées de nous pour produire sur notre planète une lumière bien sensible : ce n'est que pendant la nuit que ces corps brillent pour nous d'une faible lumière.

(632) A la surface de la terre, diverses combinaisons chimiques donnent lieu à un dégagement de lumière plus ou moins vive : nous en avons un exemple continuel sous nos yeux dans la combustion, qui est une combinaison de l'oxigène de l'air avec le corps combustible. La combinaison du *chlore*, ou gaz acide muriatique oxigéné, avec les métaux, produit le même effet.

(633) Le fluide électrique, en s'échappant avec vitesse des corps, produit souvent une lumière très-vive : nous en avons un bel exemple pendant la nuit, lorsqu'il fait des éclairs ; la lumière momentanée qui est produite est extrêmement vive ; il n'est personne qui ne l'ait remarquée. Quelques expériences sur la lumière électrique nous y ont fait apercevoir quelques propriétés particulières ; il est bien

connu des physiciens qu'elle est rarement accompagnée de chaleur.

(634) On connaît aussi un assez grand nombre de météores lumineux, parmi lesquels le plus remarquable est l'*aurore boréale.* Ce phénomène, dont la cause est encore inconnue, consiste en une masse de lumière plus ou moins resplendissante, qu'on aperçoit du côté des pôles, trois ou quatre heures après le coucher du soleil. Cette lumière est ordinairement blanchâtre à l'horizon; elle est rougeâtre et plus éclatante à 20^d ou 30^d au-dessus : elle est alors ondoyante, et il semble en sortir des traînées de flammes très-vives qui se prolongent très-haut dans le ciel. Ces flammes changent souvent de forme et de couleurs, de sorte que ce phénomène présente un spectacle magnifique; on observe qu'il est d'autant plus beau, que le froid est plus intense.

C'est dans les climats septentrionaux qu'il faut aller observer les aurores boréales; elles sont d'autant plus rares qu'on s'approche plus près de l'équateur, où elles deviennent même tout-à-fait nulles.

Quelques physiciens ont pensé que ce phénomène était dû à l'électricité accumulée vers les pôles; d'autres l'attribuent entièrement à la lumière. Ceux-ci supposent que ce sont des nuages qui reçoivent cette lumière par la réflexion qui a lieu sur d'autres nuages placés à diverses distances dans le ciel. Au reste, il n'y a aucune explication satisfaisante de ce phénomène : celle de M. Libes qui l'attribue à du gaz nitreux, paraît encore infiniment plus dénuée de fondement.

De la phosphorescence.

(635) On connaît aussi certains corps qui ont la propriété de briller, plus ou moins long-temps, d'une lumière plus ou moins vive, qui n'est accompagnée d'aucune cha-

leur sensible. Ces corps, quels qu'ils soient, ont reçu le nom de *phosphore*, *porte-lumière* (de φῶς *lumière* et de φορὸς qui *porte*.) Les chimistes donnent particulièrement ce nom à une substance très-combustible, jaune de miel et de consistance de cire, qu'on retire ordinairement des os des animaux et qui brûle lentement à l'air libre, en répandant dans l'obscurité une lumière douce.

Tout le monde connaît la lumière que répand le bois pourri un peu humide, phénomène qui est très commun dans le nord de la France, et qui l'est beaucoup moins dans le midi. On connaît aussi la lumière dont brillent les poissons lorsqu'ils sont frais et aussi lorsqu'ils se putréfient. Chacun a dû remarquer celle que donne le ver luisant ou *lampyre*, qu'on trouve dans nos prairies et qui est la femelle d'un petit insecte coléoptère. Il existe plusieurs autres espèces d'insectes phosphorescens. On en connaît un, en Italie, sous le nom de *lucciola*, dont le dessous du ventre brille d'une vive lumière dans l'obscurité; ces insectes, en voltigeant pendant la nuit, font étinceler l'atmosphère de leur lumière. Les *fulgores*, qu'on trouve à Surinam, dont le peuple se sert, dit-on, pour s'éclairer, ont au-devant de la tête une grosse boule qui jette une lumière très-vive.

Une multitude d'animalcules microscopiques qui se trouvent dans les eaux de la mer, brillent dans l'obscurité, lorsqu'on agite l'eau qui les renferme. On ne peut nager le soir dans la mer, et surtout dans les pays méridionaux, sans voir naître autour de soi une multitude de ces phosphores naturels, soit par les petits animaux qui possèdent cette propriété, soit aussi par les débris d'animaux marins à demi-putréfiés, ou plutôt passés à un état particulier graisseux: on n'est pas maître de se défendre d'une sorte d'émotion, lorsque, par le calme et l'obscurité, on se trouve ainsi plongé dans des vagues de feu.

La lumière qu'on observe quelquefois le soir sur *les fleurs de la capucine*, est encore un phénomène de phos-

phorescence assez remarquable : c'est M.[lle] Linnée, fille du célèbre Naturaliste de ce nom, qui l'a observée pour la première fois.

(636) A tous ces phosphores naturels, il faut ajouter ceux qui se produisent dans les substances, dans diverses circonstances. Ainsi, tous les corps exposés pendant quelques instans au soleil brillent ensuite dans l'obscurité ; c'est ce qui résulte des expériences de Boyle, de Dufay, de Beccari, et de celles plus récentes de M. Dessaignes : ce dernier physicien à qui nous devons des recherches très-étendues sur la phosphorescence, a trouvé que le degré de clarté qu'un corps répand, après avoir été exposé au soleil, est en raison inverse de son degré d'humidité. Il a prouvé que le plus grand nombre des corps sont susceptibles de luire par l'élévation de température. Plusieurs sels possèdent cette propriété à un très-haut degré (le fluate de chaux, les phosphates de barite, de strontiane ; le phosphite de magnésie, celui de barite qui en se fondant aux chalumeaux est entouré d'une lumière si vive qu'il est difficile d'en soutenir la vue, etc.) ; mais il faut des degrés différens de chaleur pour les différens corps : les limites paraissent être 200^{d} et 375^{d}. Il résulte de beaucoup d'expériences, que la lumière qui s'échappe est en raison directe du degré de température, et sa durée en raison inverse. Il y a des substances phosphoriques par la chaleur, qui perdent cette faculté lorsqu'elles ont été chauffées plusieurs fois de suite à une température un peu élevée. Plusieurs corps, comme la pierre à chaux, perdent leur phosphorescence quand on les calcine à une certaine chaleur, et la reprennent quand on les chauffe à quelques degrés au-dessus. La lumière que produit la phosphorescence par la chaleur, est de diverses couleurs, selon la substance soumise à l'expérience.

La compression, la percussion, le frottement produisent aussi la phosphorescence. Ainsi le sucre est un corps très-phosphorescent par la percussion et le frottement,

L'eau étant comprimée devient phosphorique. En comprimant de l'air dans un tube, il s'en dégage beaucoup de lumière.

Dans plusieurs combinaisons chimiques, il se produit une phosphorescence plus ou moins vive ; ainsi quand on éteint de la chaux vive, il se dégage de la lumière pendant la combinaison de l'eau avec cette terre.

(637) M. Dessaignes croit qu'il existe beaucoup de rapport entre la phosphorescence et l'électricité; il a remarqué que plusieurs substances préparées par un temps sec étaient phosphorescentes par l'élévation de température, et que celles qu'on avait préparées par un temps humide ne l'étaient pas.

Quelques substances broyées dans un mortier de métal perdent la propriété phosphorique, et, au contraire, deviennent très-phosphorescentes lorsqu'on les broie dans un mortier de verre, substance qui est très-difficilement perméable à l'électricité. Plusieurs substances qui avaient perdu leur vertu phosphorique, l'ont reprise par une ou plusieurs décharges électriques.

La plus grande analogie que M. Dessaignes ait trouvée entre la phosphorescence et l'électricité, est l'influence que les éminences aigues, les aspérités des corps ont sur la phosphorescence : ainsi, il a remarqué que les corps couverts d'aspérités deviennent facilement lumineux, tandis que les mêmes corps polis le deviennent beaucoup moins.

(638) La phosphorescence des substances minérales n'éprouve aucune variation lorsqu'on plonge le corps dans un fluide aériforme incapable d'entretenir la combustion. Au contraire, en plongeant les substances végétales ou animales phosphorescentes dans un tel fluide, elles perdent leur phosphorescence en tout ou en partie. Cette expérience prouve que la phosphorescence des substances minérales n'est pas due à une combustion, tandis que la phosphorescence des substances organisées y est due en tout ou en partie.

LIVRE SEPTIÈME.

DE L'ÉLECTRICITÉ.

Le mot électricité vient du grec ἤλεκτρον, *ambre jaune*, minéral dans lequel on a reconnu, pour la première fois, quelques phénomènes d'attraction et de répulsion qui se rapportent à cette partie de la physique.

CHAPITRE PREMIER.

Moyens de produire la vertu électrique.

Les principaux moyens de produire la vertu électrique, sont le *frottement*, le *contact* et la *chaleur*.

(639) *Production de l'électricité par frottement.*—En frottant une baguette de verre avec un morceau de drap ou mieux avec un tampon de papier gris, on provoque le dégagement d'une faible lumière qu'on aperçoit dans l'obscurité; si on présente ensuite la baguette à la main, on en tire de très-petites étincelles; et si on la présente à des corps légers, on les voit aussitôt se précipiter sur elle.

Un bâton de cire d'Espagne, frotté de la même manière, produit à-peu-près les mêmes effets; mais il est plus difficile d'en tirer des étincelles. Une personne, montée sur un gâteau de résine et qu'on frappe par un temps sec

avec une peau de lièvre, par exemple, donne des marques très-sensibles d'électricité, et on peut tirer des étincelles des différentes parties de son corps.

Dans la machine électrique ordinaire, *fig.* 234, le développement de l'électricté est produit par le frottement d'un plateau de verre AB, entre quatre coussins de soie C remplis de crins. Ce plateau est traversé par un axe qui porte une manivelle; il est soutenu dans une position verticale entre deux montans de bois. Au devant du plateau, se trouve un cylindre métallique, de cuivre ou de fer-blanc, qu'on nomme *conducteur* et qui est soutenu sur des colonnes de verre. Ce conducteur est terminé vers la glace par deux branches, dont chacune est pourvue à son extrémité d'un godet garni de pointes. Les coussins doivent être frottés à la partie qui touche le verre avec de l'*or musif* (oxide sulfuré d'étain), ou avec un alliage d'une partie de zinc et de cinq de mercure. La partie postérieure du coussin communique avec une tige métallique qui descend le long des montans de bois et communique avec la terre.

A l'effet de donner à la machine plus d'action, on enveloppe en partie le plateau avec un taffetas verni.

On peut, si l'on veut, remplacer le plateau de verre par un plateau ou une boule de résine, et construire ainsi soi-même une machine électrique peu coûteuse, suffisante pour étudier tous les phénomènes de l'électricité. Mais il vaut mieux employer une machine peu en usage, qu'un physicien de Bruxelles a présentée à l'Académie des sciences, en 1784. Il suffit, pour la construire, de se procurer deux mètres de taffetas verni, de coudre les deux extrémités ensemble, et de tendre la nappe sans fin qui en résulte sur deux cylindres mobiles, dont l'un est muni d'une manivelle au moyen de laquelle on met la machine en mouvement : des coussins, garnis de peau de chat, sont disposés de manière à pouvoir frotter le taffetas. La figure 235 représente une machine de cette espèce que nous

avons fait construire et avec laquelle nous avons fait des expériences pendant tout un cours. Elle était revenue à 18 fr. ; mais le taffetas, qui était mince, s'est bientôt déchiré.

Tout le temps que la machine électrique est en mouvement, on sent une odeur particulière assez semblable à celle du gaz hydrogène. Si on approche la main ou le visage du plateau ou du conducteur, on sent un frémissement particulier, comme si on venait à toucher une toile d'araignée. Enfin, si on présente le doigt au conducteur, on en tire une étincelle lumineuse qui fait éprouver une faible piqûre. Si on fait l'expérience dans l'obscurité, on voit des traînées de lumière qui serpentent sur la glace, et des étincelles que soutirent continuellement les pointes du conducteur tournées vers le plateau.

(640) *Electricité produite par le contact.* — Deux plaques, l'une de zinc, l'autre de cuivre, par exemple, étant mises en contact, acquièrent chacune la vertu électrique ; mais, pour apprécier les petites quantités d'électricité produites, il faut des instrumens particuliers que nous décrirons. La colonne de Volta ou pile galvanique, est composée de couples de zinc et cuivre, séparés les uns des autres par un corps liquide. Les phénomènes électriques produits par cet appareil, sont, à de légères différences près dans la manière, les mêmes que ceux de l'électricité par frottement.

(641) *Electricité produite par la chaleur.* — Il existe plusieurs substances minérales, qui, après avoir été chauffées, donnent des signes évidens d'électricité, par les attractions ou les répulsions qu'elles exercent sur d'autres corps ; la topaze, par exemple, produit ces effets.

(642) *Electricité animale.* — Il existe plusieurs poissons qui ont la propriété de développer, à leur gré, une plus ou moins grande quantité d'électricité, dont ils se servent pour se défendre contre les attaques de leurs enne-

mis, ou pour étourdir les animaux dont ils font leur proie.

(643) *Electricité produite par diverses opérations chimiques.* — Diverses opérations chimiques, comme les dissolutions des métaux dans les acides, divers genres de décompositions des corps, la combustion, le passage des corps solides à l'état liquide, des liquides à l'état de vapeur, etc., provoquent le dégagement d'une certaine quantité d'électricité. L'atmosphère est toujours plus ou moins chargée d'électricité, qui souvent manifeste sa présence par les éclairs et par de violentes détonations.

CHAPITRE II.

Hypothèse des fluides électriques ; propriétés qui leur sont attribuées.

Nous ignorons absolument quelle est la cause première de l'électricité, et pour lier entr'eux les différens phénomènes constatés par l'expérience, il faut nécessairement adopter une hypothèse qui puisse rendre raison de chacun d'eux ; mais, en même temps, il faut se garder d'y attacher une grande importance et de la prendre pour la réalité ; il n'y faut voir qu'un moyen commode de prévoir les différens phénomènes et les lier entr'eux. Cependant, dans la nécessité d'admettre une hypothèse, il paraîtrait naturel de choisir la plus simple.

(644) *Hypothèse de Franklin.* — Le célèbre Franklin supposait un fluide particulier répandu dans tous les corps, dont chacun en possédait une quantité plus ou moins grande, selon sa capacité ; comme nous avons vu qu'à égalité de température, les différens corps renferment des quantités différentes de calorique.

Tant que le fluide électrique était en équilibre dans un système de corps, il ne se passait rien de particulier ; mais, lorsque l'équilibre était rompu par une cause quelconque, il tendait à l'instant à se rétablir, et de là, résultaient tous les phénomènes observés.

Cette belle et simple théorie, qui a eu un grand nombre de partisans et qui en compte encore beaucoup parmi les physiciens étrangers, est presqu'entièrement abandonnée en France, pour l'hypothèse de Symmer plus ou moins

modifiée, où l'on admet deux espèces de fluide électrique. Peut-être un jour, en reviendra-t-on à la théorie de Franklin qui rend parfaitement raison de tous les phénomènes, qui est à-la-fois plus simple, plus en harmonie avec l'ensemble de nos connaissances que celle qui est adoptée aujourd'hui, et qui paraît aussi susceptible de l'application du calcul. Si nous adoptons ici l'hypothèse des deux fluides, c'est parce qu'elle est plus généralement admise en France, et que nous ne croyons pas devoir entrer en discussion dans un ouvrage destiné à la jeunesse.

(645) *Hypothèse généralement reçue en France.* — Dans l'hypothèse des physiciens français, tous les corps de la nature renferment un fluide particulier, qu'on nomme *fluide naturel;* le globe terrestre peut en être regardé comme un immense réservoir; aussi lui donne-t-on, quand il s'agit de l'électricité, le nom de *réservoir commun.*

Le fluide naturel n'a lui-même aucune propriété électrique; il est le résultat de la combinaison de deux autres fluides, le *fluide vitreux* et le *fluide résineux*, dans lesquels il est susceptible d'être décomposé par divers moyens. Ce sont ces fluides composans qui produisent tous les phénomènes électriques, lorsqu'ils sont à l'état de liberté. Les expressions, fluide vitreux, fluide résineux, équivalent à celles dont on se sert dans la théorie de Franklin, *électricité en plus* ou *positive*, *électricité en moins* ou *négative.*

(646) *Propagation du fluide électrique à travers les corps. — Faculté conductrice.* — Les fluides électriques à l'état libre, pénètrent plus ou moins facilement les différens corps, qu'on distingue à cet égard en *bons et mauvais conducteurs.* Parmi les corps solides, *les métaux* sont généralement d'excellens conducteurs, et on ne remarque aucune différence de l'un à l'autre; la toile et le lin, la paille, le charbon de bois, sont aussi de bons conducteurs; mais les *corps solides vitreux*, les résines, le sou-

fre, la soie, la laine, le sucre, les graisses, etc., etc., sont de très-mauvais conducteurs. La plupart des bois parfaitement secs, la fibre animale desséchée, conduisent assez mal les fluides électriques; mais, à l'état frais, ces matières les conduisent très-bien; ce qu'on peut attribuer aux corps liquides dont elles sont pénétrées. Les corps animaux vivans conduisent les fluides vitreux ou résineux avec une extrême facilité.

Tous les *corps liquides*, à l'exception des huiles grasses, *sont de bons conducteurs;* il semble cependant qu'il y ait quelque différence des uns aux autres; ainsi, il nous paraît que les huiles essentielles, l'esprit-de-vin, ne conduisent pas aussi bien les fluides électriques que l'eau. Les eaux chargées de sels, les eaux acidulées, les acides, sont de meilleurs conducteurs que l'eau pure.

Les corps aériformes bien secs sont de mauvais conducteurs, et d'autant plus, qu'ils sont plus denses. L'air atmosphérique est généralement mauvais conducteur; mais lorsqu'il est chargé de petites particules d'eau éparses entre ces molécules, comme dans les brouillards, dans les temps humides, sa faculté conductrice augmente considérablement. Il paraît aussi que le degré de température influe beaucoup sur la faculté conductrice des corps; la chaleur l'augmente généralement.

Les fluides vitreux ou résineux se répandent avec la plus grande facilité dans le vide, sous la forme de lumière blanche, ou plus souvent purpurine; ce qui paraît dépendre de la quantité de fluide qui peut s'échapper à-la-fois.

On dit qu'*un corps conducteur est isolé*, lorsqu'il est supporté par un corps non-conducteur. Coulomb a remarqué que le meilleur isoloir est une aiguille fine de résine laque. On doit concevoir, d'après les considérations précédentes, pourquoi il est nécessaire, dans les machines électriques, que les conducteurs soient supportés par des colonnes de verre. Lorsqu'on établit une communication entre le conducteur et la terre, la machine électrique ne

produit aucun effet, parce que le fluide électrique se répand aussitôt dans le réservoir commun, qui est un corps trop volumineux pour en être sensiblement affecté.

La vitesse avec laquelle les fluides électriques se propagent d'un point à un autre dans un corps conducteur, est excessivement grande; on peut conjecturer qu'elle est aussi grande que celle de la lumière; car, dans diverses expériences, on n'a pu apercevoir aucune différence entre le moment où l'électricité est communiquée en un point et celui où elle se manifeste à 6 ou 8 mille mètres de distance.

(647) *Etats électriques que les corps acquièrent par leur frottement mutuel.* — Tous les corps, d'après l'hypothèse admise, renferment une certaine quantité de fluide naturel qui peut être décomposé par le frottement, par le contact, par la chaleur, etc. Deux corps, non conducteurs, s'électrisent facilement par leur frottement mutuel; ils sont alors constitués, l'un à l'état d'électricité vitrée, l'autre à l'état d'électricité résineuse. Le verre et toutes les substances vitreuses acquièrent presque toujours l'électricité vitrée, lorsqu'elles sont polies et quel que soit le frottoir, pourvu qu'il soit non conducteur; cependant le verre, frotté avec le poil de chat, acquiert l'électricité résineuse.

Les substances vitreuses dépolies acquièrent l'électricité résineuse par le frottement des substances qui, lorsqu'elles étaient polies, les déterminaient à prendre l'électricité vitrée. En général, toutes les substances dont la surface est dépolie, paraissent avoir de la tendance à acquérir l'électricité résineuse; les corps, qui ont des couleurs ternes, sont dans le même cas.

Les substances résineuses manifestent presque toujours l'électricité résineuse, quel que soit le corps non conducteur avec lequel on le frotte.

Deux corps, l'un conducteur isolé, l'autre non conducteur, se constituent aussi en deux états différens d'élec-

tricité. Les corps métalliques isolés, frottés avec une substance déterminée, acquièrent, les uns l'électricité vitrée, les autres l'électricité résineuse.

Deux corps conducteurs isolés, frottés ou appliqués l'un sur l'autre, n'acquièrent chacun qu'une très-petite quantité d'électricité, et il faut des instrumens particuliers pour pouvoir s'en assurer.

Dans la machine électrique ordinaire, le plateau de verre est constitué à l'état d'électricité vitrée, et le frottoir à l'état d'électricité résineuse. Mais quand on a la précaution de faire communiquer le coussin avec le sol, l'électricité résineuse s'échappe à mesure qu'elle est développée. On peut avec cette machine charger à volonté le conducteur d'électricité vitrée ou d'électricité résineuse. Le premier cas se présente toujours, lorsque le conducteur communique au plateau; mais si on isole les coussins, qu'on les fasse communiquer avec le conducteur, et qu'au contraire on fasse communiquer le plateau avec le réservoir commun, et qu'on lui présente des pointes qui puissent lui soutirer son fluide et le porter aussi au réservoir commun, on obtient sur le conducteur, de l'électricité résineuse. Mais la machine ordinaire n'est pas disposée d'une manière commode pour produire à volonté l'un ou l'autre fluide.

On peut aussi avec les machines à plateau résineux, la machine de taffetas que nous avons indiquée, produire l'électricité vitrée ou l'électricité résineuse.

(648) *Attraction et répulsion des molécules des fluides électriques.*—L'expérience prouve que les molécules de fluide électrique de même espèce se repoussent, et que celles d'espèces différentes s'attirent; c'est ce qui détermine les corps mobiles à s'attirer ou à se repousser, suivant les circonstances.

Soient, *fig.* 236, A et B deux petites colonnes de cire terminées en *c* et *d* par des petites boules de cuivre qui soutiennent, au moyen d'un fil, les petites balles de liége

e, *f*. Si on touche, en même temps, les deux boules *c* et *d* avec un tube de verre électrisé par le frottement, on voit les petites balles *e* *f* s'écarter l'une de l'autre : il en arrive de même, si on touche, en même temps, les deux boules *c* et *d* avec un bâton de cire d'Espagne électrisé. Si, au contraire, on touche l'une des boules avec un tube de verre électrisé par frottement, et l'autre avec un bâton de cire d'Espagne électrisé de la même manière, on voit les deux petites balles de liége se précipiter l'une sur l'autre.

(649) *Electroscopes et électromètres.* — C'est d'après ces phénomènes d'attraction et de répulsion qu'ont été construits les *électroscopes* et *les électromètres*, instrumens qui servent à déterminer l'espèce d'électricité dont un corps est animé, et la quantité approximative de fluide électrique qu'il renferme.

Pour connaître si un corps est électrisé, il suffit de le présenter à un corps mobile à l'état naturel et de voir s'il l'attire. Pour déterminer l'espèce d'électricité acquise par un corps, il suffit d'examiner s'il attire ou s'il repousse un corps mobile auquel on aura préalablement communiqué une certaine espèce d'électricité.

L'électroscope de M. Haüy, qui est très-commode dans plusieurs expériences, consiste en une aiguille métallique terminée par deux petites boules, et mobile sur un pivot, *fig.* 237. On isole cet appareil sur une lame de verre ou sur un petit gâteau de résine ; on l'électrise vitreusement en le touchant avec une baguette de verre électrisée, ou résineusement en le touchant avec un bâton de cire d'Espagne.

L'électromètre de Henly, qui accompagne toujours la machine électrique sur laquelle il peut se placer, comme *fig.* 234, consiste en une tige de bois ou d'ivoire qui supporte un demi-cercle d'ivoire, dont la circonférence est divisée en parties égales : une aiguille d'ivoire suspendue au centre et portant une petite balle de moëlle de sureau

s'écarte plus ou moins de la tige, suivant que l'électricité est plus ou moins forte : c'est le plus mauvais des électromètres.

L'électromètre de Bennet, *fig.* 238, consiste en une bouteille carrée, dans le goulot de laquelle passe une tige métallique qui au-dehors se termine en boule *a*, et au-dedans communique avec deux lames d'or coupées dans des feuilles d'or battu, suspendues parallèlement et très-mobiles. En présentant un corps électrisé à la boule *a*, les lames d'or s'écartent l'une de l'autre, et leur écart s'estime par la division *cd* tracée sur une des faces de la bouteille.

(650) *Balance électrique.* — Coulomb a surtout employé la balance de torsion, que nous avons décrite n.° 113, à mesurer les forces attractives et répulsives des corps électrisés; de là le nom de balance électrique qu'on donne aussi à cet instrument. Ici les dimensions de l'appareil sont beaucoup plus petites que dans les expériences de Cawendisch, et de plus il y a quelques modifications nécessitées par la nature des expériences auxquelles il est destiné.

La balance électrique, proprement dite, est composée d'une cage de verre ABCD, *fig.* 239, recouverte d'une glace qui est surmontée d'une colonne creuse, aussi de verre. Cette colonne est terminée, à sa partie supérieure, par une virolle de cuivre qui porte une plaque circulaire horizontale, dont le bord est divisé en degrés.

Au centre de cette plaque, passe un petit cylindre de cuivre qui peut se mouvoir en tournant et qui porte une aiguille horizontale *b* ; à ce même cylindre, est suspendu un fil d'argent *ad*, maintenu verticalement par un petit poids *c*, qui supporte une aiguille horizontale de soie enduite de résine laque, terminée à une extrémité par un petit cercle de papier doré.

Le plan AB est percé d'un trou en E, au-dessus de la ligne de repos de l'aiguille de résine laque, pour per-

mettre d'introduire dans la cage une boule métallique électrisée, portée par un corps non conducteur(*).

(651) *Loi des attractions et répulsions électriques.* — Muni de cet instrument, Coulomb trouva, par expérience, que la force répulsive que les molécules d'un même fluide électrique exercent les unes sur les autres, est en raison inverse du carré de la distance. Pour faire cette expérience, on introduit dans la cage, une boule métallique électrisée, suspendue à un corps non conducteur, et on la met en contact avec le papier doré. Ces deux corps se partagent l'électricité, et à l'instant le petit levier horizontal s'écarte de la ligne de repos, d'une quantité plus ou moins grande, qu'on estime au moyen d'un cercle gradué circonscrit à la cage; par une suite nécessaire, le fil métallique se tord, et sa force de torsion est, comme nous l'avons dit (113), proportionnelle à l'arc du cercle décrit.

Supposons que la force répulsive soit de 36^d, et qu'on veuille lui opposer une force telle que le petit levier soit ramené à 18^d; il faudra augmenter la force de torsion; pour cela, on tournera l'aiguille *ab* en sens contraire de la direction qu'a suivi le papier doré. L'expérience montre que, dans le cas présent, il faut tourner l'aiguille de 126^d, qui, ajoutés à 18^d, donnent 144^d pour la force de torsion capable de maintenir le levier à 18^d.

Dans le premier cas, la distance étant 1, la torsion ou la force répulsive qui lui est égale, est de 36^d; dans le second cas, la distance est $\frac{1}{2}$, et la force répulsive 144^d; on aura donc $1 : \frac{1}{2} :: 36 : 144$ ou bien $1 : 2 :: 4 : 1$, c'est-

(*) On voit facilement que le tube et la cage de verre ne sont que des accessoires pour éviter les dérangemens que pourraient occasionner les mouvemens de l'air. On pourra les supprimer et construire alors soi-même une balance électrique capable de servir au moins pour l'explication de l'expérience de Coulomb.

à-dire, que *les forces répulsives sont en raison inverse des carrés des distances.*

Cette expérience, variée de diverses manières par Coulomb et par tous les physiciens, a donné constamment les mêmes résultats. On prouve, par des expériences semblables, que l'attraction suit la même loi.

Pour plus de simplicité, nous avons supposé que la distance, entre le corps électrisé et le cercle de papier doré, était mesurée par l'arc de cercle qui les sépare; mais, dans la réalité, c'est la corde de cet arc qui mesure la distance; il faut avoir égard à cette circonstance, et c'est même avec la correction, que la loi que nous venons de citer est tout-à-fait exacte.

(652) *Combinaison ou paralisation mutuelle des fluides électriques.* — Dans l'hypothèse des physiciens français, les deux fluides sont susceptibles de se combiner pour former un fluide particulier, le fluide naturel, qui n'a par lui-même aucune propriété électrique; c'est ce que l'on prouve par l'expérience suivante. On prend deux cylindres métalliques de même dimension, auxquels sont adaptés des manches de verre, au moyen desquels on peut les tenir sans leur enlever le fluide qu'on leur a communiqué. On électrise un de ces cylindres vitreusement, l'autre résineusement, et de manière que tous deux marquent le même degré à l'électromètre. Si l'on réunit ces deux cylindres en les plaçant au contact immédiat, on verra qu'ils perdent tous deux leur électricité, et sont constitués à l'état naturel.

Il faut aussi admettre, dans cette théorie, que lorsque les fluides d'espèces différentes, mis en présence l'un de l'autre éprouvent quelques obstacles à leur réunion, ils se *paralisent* mutuellement, de manière à ce que ni l'un ni l'autre ne peut produire d'effet. En effet, l'air étant parfaitement sec, si, au lieu de réunir les deux cylindres de l'expérience précédente en contact immédiat, on les place seulement à une petite distance l'un de l'autre, on recon-

naîtra qu'ils ne donnent plus à l'électromètre aucun signe d'électricité ; mais si on augmente successivement la distance, leurs électricités respectives reparaîtront petit-à-petit, et enfin, à une distance suffisante, elles se montreront dans toute leur force.

CHAPITRE III.

Distribution du fluide électrique dans les corps.

(653) *Expansion du fluide électrique dans les corps conducteurs et dans le vide.* — Puisque les molécules de fluide électrique de même espèce se repoussent, il est clair que dans un corps conducteur qui n'exerce aucune action chimique sur ces fluides, leurs molécules doivent s'écarter les unes des autres jusqu'à ce que les forces répulsives deviennent zéro, c'est-à-dire, indéfiniment; de sorte que si nous étions constamment plongés dans un corps conducteur, nous ne conserverions jamais de corps électrisés. Aussi, dans les temps humides où l'air atmosphérique devient conducteur, la machine électrique donne-t-elle très-peu d'électricité.

Dans le vide, les corps conducteurs ne conservent point d'électricité; ce fluide se répand à l'instant sous l'aspect d'une lumière douce purpurine; c'est ce dont on peut se convaincre en purgeant d'air le tube *fig.* 11 et faisant ensuite communiquer le robinet avec le conducteur d'une machine électrique en mouvement, tandis que l'autre extrémité communique avec le réservoir commun par la main de l'observateur ou par le moyen d'une chaîne.

On a beaucoup varié les appareils, pour déterminer le fluide électrique à prendre, en s'échappant dans le vide la forme de cascade, de gerbe, de soleil, etc., enfin pour multiplier les beaux effets de ces sortes d'expériences.

(654) *L'air atmosphérique retient le fluide électrique à la surface des corps.* — Si le fluide électrique, qui se

meut dans un corps conducteur, rencontre en sa route un corps non conducteur, il sera nécessairement arrêté à la surface de séparation des deux milieux; c'est ce qui arrive dans l'air atmosphérique. Il résulte de ce raisonnement, que le fluide électrique qu'on communique à un corps conducteur, doit tendre à s'échapper de ce corps et se porter tout entier à la surface, où il est maintenu par l'air; en sorte que le centre du corps ne doit pas être électrisé. C'est effectivement ce qui a lieu, et ce dont on peut se convaincre facilement.

Qu'on prenne une sphère métallique dans laquelle on aura creusé, suivant un de ses rayons, un trou conique assez évasé, dont le sommet soit vers le centre de ce corps; qu'on isole cette sphère, et qu'on l'électrise, en portant le fluide électrique à son centre, au moyen d'un conducteur qui plonge dans le trou.

Qu'on porte ensuite au centre de la sphère une boule de même métal à l'état naturel, isolée à l'extrémité d'une baguette de verre ou de résine, on reconnaîtra que cette boule ne manifeste aucun signe d'électricité au meilleur électromètre.

(655) *Distribution du fluide électrique à la surface des corps de diverses formes.* — Si le solide, au centre duquel on suppose qu'on ait communiqué une certaine quantité d'électricité, *est une sphère conductrice*, on conçoit qu'en vertu de la loi de répulsion, le fluide se distribuera uniformément et formera, à la surface, une couche infiniment mince, terminée à l'extérieur par la surface même du corps, et à l'intérieur par une surface semblable; ce n'est que par cette distribution que l'équilibre peut avoir lieu.

Si au lieu d'une sphère, on emploie un *ellipsoïde de révolution, fig.* 240, le fluide électrique que nous supposerons encore porté au centre du corps, agira, comme nous venons de le dire à l'égard de la sphère inscrite; mais arrivé aux points de tengence *a* et *b*, il trouvera un

obstacle dans l'air et se refoulera vers les extrémités A et B du grand axe; par conséquent, il sera plus abondant en ces points qu'en *a* et *b*.

Si on prend *un tétraèdre régulier* et qu'on y considère aussi la sphère inscrite, on concevra que le fluide électrique, en se distribuant suivant la loi de répulsion, arrivera aux quatre points de tangence et se refoulera vers les angles solides où vers les arrêtes; par conséquent, il s'y accumulera en plus grande quantité que vers le milieu des faces.

(656) *Partage du fluide électrique entre des corps en contact.* — Nous devons à Coulomb un grand nombre d'expériences sur le partage du fluide électrique entre des corps en contact, et sur la loi de la distribution de ce fluide sur les différens points des corps. Ces expériences ont été faites avec beaucoup de soin, au moyen de la balance électrique.

Coulomb a fait voir que le partage du fluide électrique entre deux corps en contact, ne dépend que de la forme de ces corps, et nullement de leur nature. Après avoir placé une boule de cuivre électrisée vis-à-vis le petit cercle de papier doré de la balance électrique, et avoir déterminé la torsion, il touchait cette boule avec des boules isolées, de même surface et de différentes matières; après avoir enlevé ces nouvelles boules, le papier doré se rapprochait : Coulomb diminuait alors la torsion au moyen de l'aiguille supérieure, jusqu'à ce que le papier allât se replacer à la distance où il était primitivement. Il observa toujours que la torsion n'était plus alors que moitié de ce qu'elle était avant : donc, la force répulsive, et, par conséquent, la quantité d'électricité dans la boule de cuivre, était elle-même diminuée de moitié. Il résulte de là, qu'entre deux sphères de même diamètre, de quelque nature qu'elles soient, le fluide électrique se partage également; il n'y a de différence que dans le temps nécessaire au partage, qui est d'autant plus long que les corps sont moins bons conducteurs.

Coulomb a ensuite cherché comment le fluide électri-

que se partageait entre des sphères de diamètres différens. Il a trouvé que si les surfaces étaient inégales suivant un rapport donné, les quantités de fluide variaient dans un rapport différent et plus petit; en sorte que les surfaces étant, par exemple, dans le rapport de 1 à 15, les quantités respectives de fluide étaient dans le rapport de 1 à 11.

Après une série d'expériences par lesquelles il avait trouvé que l'un des globes restant le même, et l'autre étant de plus en plus petit, les rapports des quantités respectives de fluide augmentaient suivant une progression toujours plus lente; il compara deux globes dont les surfaces étaient à-peu-près dans le rapport de 2300 à 1, et il trouva que les quantités respectives de fluide étaient dans le rapport de 2 à 1; rapport qui peut être regardé comme la limite de la progression, en considérant le petit globe comme infiniment petit par rapport à l'autre.

(657) *Distribution du fluide électrique à la surface des corps en contact.* — Coulomb a ensuite cherché la loi suivant laquelle le fluide électrique se distribuait sur les différens points des corps en contact. *Lorsque deux globes électrisés de la même manière se touchent*, les molécules de fluide, en vertu de la loi de répulsion, doivent se refouler de part et d'autre du point de contact; en sorte que la densité électrique soit nulle dans ce point et dans les parties environnantes jusqu'à une certaine distance; c'est ce que l'expérience confirme. Coulomb a aussi observé que plus les globes sont inégaux, plus la densité électrique varie sur le petit, depuis le contact jusqu'à 180^d, et que sur le gros, elle approche davantage de l'uniformité. Ayant mis en contact un globe de $0^m,216$ de diamètre avec un globe de $0^m,054$, il a trouvé que la densité électrique était insensible sur le petit globe, depuis le point de contact jusqu'à 30^d; qu'à 45^d, elle était le quart de celle qui avait lieu à 90^d, et que de 90^d à 180^d, elle croissait dans le rapport de 10 à 14. Dans le gros globe, la densité

électrique était insensible depuis le point de contact jusqu'à 4^d ou 5^d seulement; elle croissait ensuite rapidement jusqu'à 30^d, et de là, elle était à-peu-près uniforme jusqu'à 180^d.

Ayant mis en contact une série de petits globes égaux, Coulomb a cherché la loi de la distribution du fluide électrique sur eux; il a trouvé, comme on doit le prévoir, qu'il y avait égalité entre les densités électriques des globes extrêmes, et qu'en général, deux globes, également éloignés des extrémités, se trouvaient au même degré de densité électrique. Dans chaque globe extrême, la densité est plus grande que dans le globe suivant; le décroissement de densité est très-rapide du premier globe au second, du second au troisième; mais il devient ensuite plus lent jusqu'au milieu où la densité est zéro.

Coulomb mit *une suite de globes égaux de* $0^m,054$ *de diamètre en contact avec un globe de* $0^m,216$, et compara les densités électriques de ces petits globes entr'eux et de chacun d'eux avec le gros globe. Il trouva dans une file de 24 petits globes, que la densité électrique du 24.me était à celle du 23.me dans le rapport de 1,49 à 1;

Celle du 24.me au 12.me était, dans le rapport de 1,7 à 1;

Celle du 24.me au 2.me était, dans le rapport de 2,10 à 1;

Celle du 24.me au 1.er, qui était en contact avec le gros globe, se trouva dans le rapport, de 3,72 à 1;

Enfin, la densité électrique du 24.me petit globe était, à celle du gros globe dans le rapport de 2,16 à 1.

(658) *Distribution du fluide électrique à la surface d'un cylindre libre ou en contact avec un gros globe.* — Coulomb a ensuite cherché de quelle manière le fluide électrique se distribuait sur les différens points de la surface d'un cylindre. La densité du fluide varie depuis les extrémités jusqu'au milieu, à-peu-près dans le même rapport que sur une suite de globes égaux. A mesure qu'on emploie des cylindres plus minces, la densité électrique des points extrêmes s'accroît par rapport à celle des points intermédiaires. Enfin, en supposant un cylindre très-délié

placé sur un gros globe électrisé, la densité du fluide, à l'extrémité libre du cylindre, devient considérable, et peut le devenir à tel point que l'air ne soit plus capable de résister à la répulsion des molécules. C'est de cette manière que Coulomb concevait le pouvoir des pointes pour lancer rapidement dans l'atmosphère le fluide électrique d'un corps électrisé.

(659) *Application du calcul à la distribution du fluide électrique à la surface des corps.* — M. Poisson a soumis au calcul la distribution du fluide électrique à la surface des corps ; il observa d'abord que la couche de fluide doit être terminée à l'extérieur par la surface du corps, et à l'intérieur par une surface peu différente, déterminée par la condition d'équilibre entre les forces répulsives des molécules électriques. Il n'a encore déterminé la forme de la surface intérieure, que pour les solides peu différens de la sphère et de l'ellipsoïde de révolution. Le calcul fait voir que cette surface doit être semblable à celle de la sphère ou de l'ellipsoïde donné. Ce résultat conduit à déterminer l'épaisseur de la couche en tel point qu'on voudra : dans une sphère, l'épaisseur est partout égale ; mais, dans un ellipsoïde, l'épaisseur est plus grande aux extrémités du plus grand des trois axes : si l'ellipsoïde est très-alongé, l'épaisseur de la couche électrique devient très-considérable aux extrémités du grand axe.

Le calcul prouve aussi que la densité du fluide électrique, quelle que soit la forme du corps, est partout proportionnelle à l'épaisseur de la couche fluide. Or, la pression que le fluide électrique exerce sur l'air qui le maintient à la surface d'un corps, est en raison composée de la densité et de l'épaisseur de la couche ; et puisque l'une de ces quantités est proportionnelle à l'autre, il en résulte que la pression que le fluide exerce est proportionnelle au carré de l'une d'elles.

Si on emploie un ellipsoïde très-allongé, l'épaisseur devenant très-considérable aux extrémités du grand axe, il

peut arriver que la pression devienne assez considérable pour vaincre la résistance de l'air ; c'est pourquoi un corps terminé en pointe, ne peut conserver l'électricité qu'on lui communique. Il en est de même dans les corps terminés par des arrêtes saillantes ou par des angles solides aigus ; le fluide électrique peut y acquérir assez de force pour vaincre la résistance de l'air : aussi ces corps ne conservent-ils pas l'électricité. C'est pour éviter cette déperdition de fluide qu'on a soin d'arrondir les conducteurs des machines électriques et tous les instrumens dont on se sert pour les expériences d'électricité.

(660) *Des aigrettes et des points lumineux qui se forment à l'extrémité d'une pointe.* — Si, après avoir placé une pointe sur le conducteur d'une machine vitreuse, on fait tourner le plateau, on verra, dans l'obscurité, une *belle aigrette lumineuse* s'élancer de la pointe. Cette aigrette produit dans l'air une certaine agitation ; elle frappe les molécules de ce fluide, les chasse devant elle, ou les force à se porter sur les côtés : il se fait alors une espèce de vide que l'air adjacent remplit sur-le-champ ; de sorte qu'il s'établit un courant dirigé vers la partie aigue de la pointe.

Si la pointe était mobile, elle serait chassée en arrière ; c'est ce qui arrive dans la roue électrique, qui est un fil métallique tourné en forme d'S, aiguisé aux deux bouts et mobile horizontalement sur un pivot.

Si au lieu d'une pointe, on en place deux sur un conducteur, elles se nuiront mutuellement, si elles sont assez rapprochées ; ce qui vient de la répulsion mutuelle des molécules de même fluide accumulé dans chaque pointe.

Si on place une pointe sur le conducteur d'une machine résineuse, on ne voit qu'un point lumineux au lieu d'une aigrette ; ce qu'on explique par une plus grande résistance, que l'air opposerait au mouvement du fluide résineux qu'à celui du fluide vitreux. C'est M. Tremery qui a introduit cette hypothèse, qui semble être confirmée par diverses expériences de ce savant professeur.

CHAPITRE IV.

De l'action des corps électrisés sur les corps à l'état naturel.

(661) *Étincelle électrique. Distance explosive.* — Lorsqu'un corps conducteur est chargé d'électricité, maintenue à sa surface par la résistance de l'air, si on lui présente le doigt ou un corps conducteur arrondi à l'état naturel, on en tire une étincelle plus ou moins vive, suivant la densité du fluide électrique.

On a nommé *distance explosive* le plus grand intervalle qui, dans un milieu quelconque non conducteur, puisse se trouver entre deux corps, dont l'un soutire le fluide électrique de l'autre par une étincelle ; en sorte qu'au-delà de cette distance l'étincelle n'a plus lieu. La distance explosive varie suivant la densité du fluide à la surface du corps, suivant la puissance conductrice et la forme de ce corps, et enfin suivant le plus ou le moins de résistance des milieux environnans.

Toutes choses égales d'ailleurs, la distance explosive est plus grande dans l'air sec raréfié que dans l'air sec condensé ; elle est toujours plus grande dans ce fluide que dans le verre, et dans ce corps plus que dans les résines.

Lorsqu'on a disposé une suite de corps conducteurs, séparés les uns des autres par un petit intervalle, si on communique l'électricité à l'un d'eux, le fluide passe ensuite de l'un à l'autre par des étincelles ; par exemple, quand on suspend une chaîne métallique au conducteur d'une machine en mouvement, on voit dans l'obscurité les étincelles passer rapidement d'un anneau à l'autre, et il

en résulte une sorte de ruban lumineux plus ou moins intense. On a imaginé divers appareils pour produire dans l'obscurité des effets plus ou moins agréables, au moyen de ces étincelles; tels que des lettres, des colonnes, des bouquets, etc. Ces appareils consistent en des lames de verre, des tubes ou des balons de même matière, à la surface desquels sont collés des petits carrés d'étain distans les uns des autres, ou des lames d'étain sur lesquelles on a ensuite dessiné, avec la pointe d'un canif ou de tout autre instrument tranchant, des arbres, des bouquets, etc. On fait communiquer un de ces points métalliques avec le conducteur d'une machine en mouvement, et un autre opposé avec le réservoir commun; alors le fluide électrique se porte par des étincelles d'un petit carré à l'autre, et dessine les objets desirés : ce sont ces appareils qu'on nomme *tableaux magiques*.

(662) *Sphère d'activité électrique. — Décomposition du fluide naturel dans un corps naturel placé à distance d'un corps électrisé.* — L'action d'un corps électrisé n'est pas limitée à la distance explosive; elle se manifeste beaucoup plus loin, d'une manière, à la vérité, moins frappante, mais peut-être plus digne de l'attention du physicien. On regarde la plus grande distance à laquelle un corps électrisé puisse manifester son action, comme le rayon d'une sphère qu'on nomme *sphère d'activité électrique*. Ce rayon est plus ou moins long, suivant la densité du fluide électrique à la surface du corps électrisé, suivant la faculté conductrice de ce corps et celle de celui sur lequel il agit, enfin suivant la faculté conductrice du milieu environnant.

Lorsqu'un corps chargé d'une espèce quelconque d'électricité est en présence d'un corps à l'état naturel, il décompose le fluide naturel de ce corps, attire vers lui le fluide différent du sien, et repousse, au contraire, le fluide semblable dans la partie opposée. Si le corps naturel est mobile, il se précipite sur le corps électrisé : alors il faut

distinguer deux cas, 1.° si les corps ne sont pas conducteurs, ou si l'un est conducteur et l'autre point, ils restent appliqués l'un sur l'autre, parce que les fluides électriques ne sortent qu'avec peine de ces corps, et que, ne pouvant dès lors se combiner ensemble pour reformer du fluide naturel, ils continuent à s'attirer mutuellement.

2.° Si les corps sont conducteurs, à peine le contact aura-t-il eu lieu, que les deux fluides d'espèces différentes se réuniront et reformeront du fluide naturel; alors le fluide repoussé dans la partie opposée du corps mobile se partagera entre les deux corps qui, se trouvant ainsi électrisés de la même manière, se repousseront. Si, par un moyen quelconque, on enlève à un de ces corps son électricité, il sera de nouveau attiré par l'autre, ou l'attirera; c'est sur ce principe que sont fondées les expériences nommées *danse électrique*, *carillon électrique*.

Danse électrique. On suspend au conducteur d'une machine électrique, *fig.* 241, une plaque de métal qui, elle-même, en tient une autre suspendue par le moyen de quelques cordons de soie; cette seconde plaque communique avec la terre au moyen d'une chaîne; on dispose sur elle une ou deux petites figures de papier ou de moëlle de sureau, et on fait jouer la machine; à l'instant, les petites figures se lèvent, sautent, tournent et voltigent comme des danseurs.

La machine étant en mouvement, les petites figures subissent l'action du plateau supérieur qui est électrisé; elles sont attirées par lui, et après le contact se trouvent avoir la même espèce d'électricité; alors elles sont repoussées et retombent sur le plateau inférieur, qui s'empare de leur électricité et la fait passer par la chaîne au réservoir commun : elles sont donc ramenées à l'état naturel, puis attirées de nouveau, etc.

Carillon électrique. On accroche au conducteur d'une machine électrique, une tige horizontale métallique, *fig.* 242, qui porte deux timbres, l'un A suspendu par une

chaîne métallique, l'autre B suspendu par un cordon de soie et communiquant au réservoir commun par une petite chaîne. Un petit corps métallique *a* est suspendu par un cordon de soie entre les deux timbres.

Quand on fait jouer la machine, le timbre A s'électrise, rend attirable le corps *a* et l'attire, puis le repousse aussitôt que le contact a eu lieu. Le corps *a* qui se trouve électrisé, se porte alors sur le timbre B qui ne l'est pas, lui abandonne son électricité, et revient à sa place en vertu de la pesanteur. Il est attiré de nouveau, et les mêmes phénomènes se reproduisent.

La décomposition du fluide naturel est mise en évidence par l'expérience suivante. Que, vis-à-vis le conducteur d'une machine vitreuse en mouvement, on approche à une certaine distance peu considérable un cylindre métallique isolé BC, *fig.* 243, à l'état naturel et portant un électromètre en C; la machine étant mise en mouvement, le cylindre BC ne tardera pas à donner des marques sensibles d'électricité vitrée : si on le touche alors avec le doigt, sur-le-champ l'électromètre baissera et toute trace d'électricité disparaîtra; mais si on l'éloigne ensuite du conducteur, l'aiguille de l'électromètre remontera, et on reconnaîtra, au moyen de l'électroscope, que l'électricité qui se manifeste est résineuse.

Dans cette expérience, le fluide vitré répandu sur le conducteur A, décompose le fluide naturel du cylindre BC, attire en B le fluide résineux *qu'il paralise*, et repousse en C le fluide vitré qui, se trouvant à l'état libre, manifeste sa présence par l'électromètre. Si on touche le corps BC, on lui enlève son fluide vitré, et il ne donne plus de signe d'électricié tant qu'il reste vis-à-vis le conducteur; mais aussitôt qu'on l'éloigne, le fluide résineux paralisé en B devient libre et manifeste sa présence.

(663) *Action d'une pointe pour soutirer le fluide électrique.* — Nous avons vu précédemment qu'une pointe métallique, placée sur un conducteur, lançait à l'instant,

dans l'atmosphère, tout le fluide qu'il recevait. Une pointe placée devant un conducteur, lui soutire promptement son fluide électrique sans étincelle. Dans ce cas, il faut concevoir que le fluide naturel de la pointe est décomposé par le fluide électrique du conducteur; le fluide semblable est repoussé dans la partie opposée, et de là dans le réservoir commun, s'il y a communication; au contraire, le fluide d'espèce différente est attiré vers la pointe où il s'accumule fortement, et acquiert, suivant les expériences de Coulomb (657), assez de densité pour vaincre la résistance de l'air. Il se précipite donc sur un seul point du conducteur, et se combine avec son fluide pour former du fluide naturel.

Une pointe agit sur le conducteur à une grande distance; à 5 ou 6 mètres elle peut encore lui soutirer son fluide. Une pointe placée sur un électromètre de Bennet, attire l'électricité de l'atmosphère et en manifeste la présence par l'écartement des lamelles d'or, lors même qu'on serait loin de pouvoir la soupçonner.

Ces diverses expériences nous conduisent à décrire divers instrumens électriques dont nous n'avons point encore parlé, tels sont l'*électrophore*, *le condensateur et* l'*électromètre condensateur.*

(664) *Électrophore.* — Cet instrument fut inventé par Wlick, professeur de physique à Stokholm. Il est composé d'un gâteau de résine bien uni et d'un disque métallique plus petit, auquel est adapté un manche de verre qui sert à l'isoler lorsqu'on le tient. On électrise la résine en la frottant avec une peau de lièvre; on place ensuite le disque métallique par-dessus.

L'électricité dont le gâteau résineux est animé, décompose le fluide naturel du disque métallique; et comme il est plus grand que ce disque, il attire fortement vers lui le fluide vitré et repousse fortement le fluide résineux dans la partie opposée. Ce fluide est par conséquent sollicité à

s'échapper et s'échappe en effet quand l'air est humide, et mieux encore quand on lui présente le doigt.

La résine étant un mauvais conducteur, il en résulte que le fluide vitré et le fluide résineux qui se trouvent en présence, ne peuvent se réunir pour former du fluide naturel, mais ils se paralisent mutuellement; en sorte que tant que le disque et le gâteau de résine sont en contact, aucune partie de fluide vitré ou de fluide résineux ne saurait s'échapper. Ces fluides resteraient indéfiniment dans leurs plateaux respectifs, si la résine était absolument incapable de conduire l'électricité; mais, comme elle n'est que mauvais conducteur, ils se réunissent et se combinent petit-à-petit, en sorte qu'après un certain temps, assez long cependant, ils finissent par disparaître complètement.

Si on touche avec le doigt le disque métallique et qu'on l'enlève ensuite de dessus le plateau de résine, tout le fluide vitré qu'il renferme devenant libre, on pourra en tirer une étincelle. Si on le replace sur le gâteau de résine, celui-ci qui est encore électrisé, effectuera une nouvelle décomposition du fluide naturel du plateau métallique. On pourra encore toucher ce plateau, l'enlever et en tirer une nouvelle étincelle, et ainsi de suite, presque aussi longtemps qu'on voudra.

Si l'air étant parfaitement sec, on enlevait le plateau métallique sans le toucher, on ne pourrait en tirer une étincelle, parce que les deux fluides qu'il renfermerait encore, se recombineraient lorsqu'ils seraient hors de la sphère d'activité du plateau résineux.

On peut remplacer le plateau de résine par un plateau de verre, et on ne trouvera, dans les phénomènes, que cette différence, que, dans la plupart des cas, l'électricité qu'on tirera du plateau métallique sera résineuse, parce que le verre s'électrise vitreusement.

(665) *Condensateur.* — Nous devons cet instrument au célèbre Volta. Il est de la plus grande utilité pour rendre

sensibles les très-faibles degrés d'électricité. Il est composé d'un disque métallique (*plateau collecteur*), bien poli, emmanché à une colonne de verre, et d'un plateau qui doit être d'une substance à demi-conductrice, comme une plaque de marbre, de bois sec, ou enfin un corps métallique couvert d'une couche de vernis.

Cet instrument produit l'effet de l'électrophore. Si on communique une certaine quantité de fluide électrique au plateau collecteur, ce fluide décompose le fluide naturel du plateau inférieur, attire le fluide d'espèce différente, et repousse le fluide semblable dans le réservoir commun, à la faveur de la faculté demi-conductrice du marbre, etc. Les deux fluides d'espèce différente qui sont en présence, se paralisent mutuellement et ne peuvent se réunir que très-lentement; de sorte qu'on peut ajouter au plateau collecteur une nouvelle quantité de fluide électrique, semblable à celui qu'il possède déjà, qui décompose une nouvelle portion de fluide naturel, et se trouve paralysé par le fluide d'espèce différente qui en provient, etc.

Si deux substances, par leur frottement mutuel ou par leur contact, ne mettent en liberté que de très-petites quantités de fluide électrique, il sera impossible de les mesurer par le moyen des instrumens connus (649). Mais, en accumulant successivement dans le plateau collecteur de l'instrument que nous décrivons ici, les petites quantités d'électricité qui se produisent à chaque instant, on aura, après un certain nombre de contacts, une quantité d'électricité appréciable. En enlevant alors le plateau collecteur, on pourra ou en tirer une étincelle, ou mesurer l'électricité qu'il renferme au moyen de l'électromètre de Bennet.

(666) *Electromètre condensateur.* — Ce n'est autre chose que l'électromètre de Bennet, auquel on a adapté le condensateur. A et B, *fig.* 244, sont deux disques métalliques dont les faces qui se touchent sont recouvertes d'une couche de vernis. Le disque A, surmonté d'un-

colonne de verre, communique avec le réservoir commun, au moyen d'une lame métallique courbée en avant pour la tenir éloignée de la bouteille. Le disque B, qui tient à l'électromètre, communique avec les deux feuilles d'or.

On communique l'électricité du corps au plateau B, dans lequel elle peut s'accumuler, et quand on juge avoir fait un nombre suffisant de contacts, on enlève le disque A; alors, l'électricité se manifeste et fait écarter les lames l'une de l'autre. On peut mesurer cet écartement, et en divisant le nombre de millimètres par le nombre de contacts successifs, on pourra avoir une idée de la quantité d'électricité qu'on a communiquée à chaque fois.

CHAPITRE V.

Des phénomènes de l'électricité accumulée.

(667) *Electricité accumulée dans le conducteur d'une machine et dans un cylindre en présence.* — Si dans la sphère d'activité du conducteur A d'une machine électrique en mouvement, *fig.* 243, on place un cylindre BC non isolé, le fluide, produit par le mouvement du plateau, s'accumulera dans le conducteur, et le fluide d'espèce différente, provenant de la décomposition du fluide naturel du cylindre, s'accumulera en B; le fluide semblable sera au contraire repoussé en C, et de là, passera dans le réservoir commun.

Les fluides d'espèces différentes, enfermés en B et A, se paraliseront mutuellement; en sorte que tant que ces corps seront en présence, ils ne manifesteront qu'une très-faible électricité.

Si après quelques instans on arrête la machine, qu'on isole en même temps le cylindre BC et qu'on lui présente le doigt, on n'en tirera aucune étincelle; mais si on le présente au conducteur A, on en tirera une; ensuite on en pourra tirer une de BC, puis une autre du conducteur, puis une de BC, et ainsi de suite alternativement; de sorte que, par des contacts successivement répétés, on parviendra à décharger d'électricité le conducteur et le corps.

Pour concevoir comment on peut ainsi tirer alternativement des étincelles des deux corps, il faut remarquer que

le fluide du conducteur, que nous supposerons être du fluide vitreux, obligé d'agir à distance sur le fluide résineux du cylindre BC, doit être plus abondant que lui; par conséquent, tout le fluide résineux du cylindre BC est paralysé; mais tout le fluide vitreux du conducteur ne l'est pas; il y en a une partie qui n'est maintenue que par la résistance de l'air. Lorsqu'on a isolé le cylindre BC, on ne fait, en lui présentant le doigt, que rétablir la communication avec le réservoir commun, et dès lors, on n'en tire aucune étincelle. Si on présente le doigt au conducteur, on en tirera, par une étincelle, la portion de fluide qui n'est maintenue que par la résistance de l'air. Or, cela fait, le fluide résineux, accumulé en B, n'est plus totalement paralysé; une partie ne se trouve plus maintenue que par la résistance de l'air, et on la soutirera en lui présentant le doigt: en même temps, une nouvelle portion de fluide vitreux deviendra libre dans le conducteur, et on pourra la soutirer de nouveau; et ainsi de suite.

Si, au lieu de contacts successifs, on place d'abord une main sur BC, puis l'autre sur le conducteur, on recevra à-la-fois toute l'électricité, et on ressentira, dans les deux bras et surtout aux jointures, une violente secousse. Ce qu'il y a de remarquable dans cette expérience, c'est que, si un nombre quelconque de personnes (quelques centaines) se tiennent par la main, que la personne placée à une extrémité de la chaîne touche le cylindre BC, tandis que celle qui est à l'extrémité opposée touche le conducteur, toutes les personnes de la chaîne éprouveront la commotion au même instant; ce qui peut faire juger de la vitesse avec laquelle les fluides électriques se propagent.

Si on veut décharger d'un seul coup l'appareil, sans recevoir la commotion, il faut se servir de l'*excitateur*, *fig.* 245; c'est une tige de métal terminée par deux boules et brisée à charnière vers son milieu. Deux manches de bois sec, couverts de cire à cacheter, servent à tenir l'instrument plus facilement. Pour s'en servir, on place une

des boules sur le cylindre, puis l'autre sur le conducteur.

Dans l'expérience que nous venons de faire, la distance entre les deux corps a dû être très-grande, parce que dans l'air la sphère d'activité électrique s'étend très-loin ; mais nous avons vu qu'elle s'étend dans le verre à une distance moins considérable; nous pourrons donc à la tranche d'air substituer une lame de verre, et dès lors, les corps seront plus près l'un de l'autre ; tel est le principe de la construction du *carreau fulminant.*

(668) *Carreau fulminant et bocal électrique.* — Le carreau fulminant est une lame de verre recouverte de chaque côté d'une feuille d'étain qui n'atteint pas jusqu'aux bords, et qui laisse tout autour environ 50 millim. du verre à découvert. On met le carreau à plat sur une table, et on interpose, entre la table et la *garniture* inférieure, une petite chaîne qui communique avec le sol : on établit ensuite une communication entre la garniture supérieure et le conducteur d'une machine électrique. Lorsque le plateau est chargé, si on touche à-la-fois les deux garnitures, on reçoit une violente commotion.

A mesure que l'électricité s'accumule, la distanee explosive de la garniture supérieure pénètre plus avant dans le verre ; il arrive quelquefois qu'elle atteint la garniture inférieure; alors, il se fait une décharge spontanée qui brise ordinairement le plateau.

Si on couvre la surface supérieure avec un vernis, mêlé de poudre métallique, le plateau se charge de même ; mais l'électricité s'élance de tous côtés en éclairs serpentans. Ce plateau prend le nom de *carreau magique.*

Au lieu d'une lame de verre, on peut employer un vase de verre, comme un gobelet, une jatte, etc. ; on garnit la face intérieure et la face extérieure de feuilles d'étain, jusqu'à environ 50 millim. des bords. Cet appareil, qui produit les effets du carreau fulminant, prend le nom de *bocal électrique.*

(669) *Bouteille de Leyde et batterie électrique.* — La

première expérience d'électricité accumulée est due au hasard ; Mussembrock, à Leyde, en 1745, se proposait d'électriser de l'eau renfermée dans une bouteille qu'il tenait à la main : le liquide communiquait avec le conducteur, par le moyen d'une chaîne qu'il voulut supprimer ; alors il reçut une violente secousse qui l'effraya tellement, qu'il écrivit à Réaumur qu'il ne recommencerait pas cette expérience pour tous les trésors de l'univers (*).

Cette expérience fut répétée à Paris, par Nollet, en 1746. Celui-ci découvrit le carreau fulminant, le bocal électrique, et substitua à la bouteille d'eau, une bouteille dont l'extérieur est garni de feuilles d'étain et dont l'intérieur est rempli de légères feuilles de métal ; une tige métallique, souvent recourbée et toujours terminée en boule, communique avec l'intérieur. Cet appareil, *fig.* 246, porte le nom de *bouteille de Leyde*.

Tenant cette bouteille par la garniture extérieure, on l'électrise en mettant le bouton en communication avec le conducteur ; ou bien, la tenant par le bouton, on l'électrise en mettant la garniture extérieure en communication. Dans le premier cas, la machine étant vitreuse, l'intérieur se trouve électrisé vitreusement, et l'extérieur résineusement : c'est le contraire dans le second cas.

Si on touche à-la-fois les deux garnitures d'une bouteille de Leyde, on éprouve une secousse plus ou moins violente. C'est ordinairement avec cet instrument, qu'on fait voir que plusieurs centaines de personnes qui se tiennent par la main, reçoivent la commotion au même moment, lorsque la première personne de la chaîne, tenant la bouteille par la garniture extérieure, fait toucher la garniture intérieure à la personne placée à l'autre extrémité.

Mine électrique. On place derrière la porte d'un ap-

(*) Suivant Gehler la découverte fut faite en même temps par le chanoine Kleist, à Cammin (Poméranie prussienne.)

partement une forte bouteille de Leyde chargée, ou plusieurs bouteilles qui communiquent ensemble. La garniture extérieure communique avec la serrure en un endroit qu'on puisse toucher en mettant la clef. Un anneau, suspendu au fond du vase, communique avec un fil de fer qui passe au-dehors par-dessous la porte, et s'accroche à d'autres fils cachés sous un tapis de paille.

Celui qui veut entrer furtivement et qui ignore la disposition de l'appareil, communique avec l'extérieur des bouteilles par les fils qu'il foule aux pieds, et avec l'intérieur par la clef : il reçoit alors une commotion dont l'effet est beaucoup augmentée par la frayeur dont il est saisi.

Batterie électrique. On nomme ainsi la réunion de plusieurs bouteilles de Leyde, dont les garnitures extérieures communiquent entr'elles au moyen d'une lame d'étain sur laquelle les bouteilles sont placées ; les garnitures intérieures communiquent aussi entr'elles par le moyen de quelques tiges métalliques adaptées aux boutons. On charge cet appareil comme une bouteille de Leyde, en faisant communiquer une des garnitures avec le conducteur d'une machine électrique, et l'autre avec le réservoir commun.

Les effets des batteries électriques sont extrêmement violens ; il faut soigneusement éviter d'en recevoir la décharge ; car on pourrait se blesser grièvement ou au moins éprouver une secousse dont on se sentirait pendant long-temps. Les oiseaux, les petits animaux, sont tués sur-le-champ par la décharge d'une batterie de quelques bouteilles.

Lorsqu'on veut décharger une batterie électrique, on se sert de l'excitateur ; on pose une des boules sur la garniture extérieure, et on approche l'autre de la garniture intérieure. On obtient alors une étincelle extrêmement vive qui peut traverser un plateau de verre sans le briser ; elle n'y laisse qu'un trou imperceptible ; ce qui tient sans doute à l'extrême vitesse avec laquelle elle est lancée.

(670) *Combustions électriques.* L'étincelle électrique,

lancée sur une substance combustible, sur de l'esprit-de-vin chaud par exemple, l'enflamme facilement; mais on peut avec une batterie produire des combustions plus remarquables, celle des métaux. Par exemple, un fil de fer, dont on fait communiquer les deux extrémités avec les garnitures d'une batterie, s'alume et brûle avec une flamme blanche, très-vive, en lançant de belles étincelles de côtés et d'autres. En disposant un papier convenablement, on peut récolter le produit de la combustion qui est composé de petits globules de protoxide de fer, ou fer combiné avec une certaine quantité d'oxigène.

On peut de même brûler les différens métaux; par exemple, un fil d'or brûle avec une flamme blanche-bleuâtre, et il en résulte une poussière fine de couleur pourpre qui est du protoxide d'or. L'argent brûle avec une flamme verte, etc.

(671) *Bouteille d'Ingenhousz.* L'expérience de Mussembrock fit tant de bruit, que tout le monde voulut avoir des machines électriques; on vit alors, à tous les coins des rues, des charlatans qui, pour une petite rétribution, vous faisait répéter l'expérience. La bouteille d'Ingenhoulz eut alors beaucoup de vogue. C'est une petite bouteille de Leyde dont la surface est converte d'un vernis de cire d'espagne, afin de la préserver de l'humidité. Un ruban de taffetas vernis et un morceau de peau de lièvre, accompagnent cette bouteille; le tout est enfermé dans un étui très-portatif. On charge la bouteille, en promenant le bouton de la garniture intérieur sur le ruban vernis, tandis qu'on frotte celui-ci avec la peau de lièvre.

On a aussi disposé la bouteille de Leyde sous la forme d'une canne qu'on nomme alors *canne électrique*, et dont on se sert comme de la bouteille d'Ingenhoulz pour donner une commotion à quelqu'un, à l'instant où il ne s'y attend pas. C'est un tube de verre garni comme une bouteille de Leyde ordinaire, et qui est renfermé dans un tube de fer-blanc peint.

CHAPITRE VI.

De l'électricité produite par le contact de diverses substances, ou galvanisme.

(672) *Phénomènes fondamentaux.* — Deux corps de nature différente mis en contact, sont constitués, l'un à l'état d'électricité vitreuse, l'autre à l'état d'électricité résineuse. Mais la quantité d'électricité, produite à chaque contact, est souvent très-petite et ne devient sensible que par l'accumulation dans un condensateur.

Si on prend, par exemple, deux métaux, zinc et cuivre, ils sont constitués par leur contact, le premier à l'état d'électricité vitreuse, le second à l'état d'électricité résineuse; mais ces phénomènes ne se produisent qu'au contact immédiat; en sorte que, si on interpose entre les corps une couche de vernis, un corps humide, etc., les effets n'ont plus lieu.

Ayant formé une lame métallique composée de deux métaux zinc, et cuivre, soudés ensemble, si on prend entre les doigts l'extrémité cuivre pour porter l'extrémité zinc sur le plateau collecteur, celui-ci ne sera pas électrisé; mais, si on le recouvre préalablement d'un papier humide, il s'électrisera vitreusement.

Si on prend entre les doigts l'extrémité zinc et qu'on pose l'extrémité cuivre sur le plateau collecteur, celui-ci sera électrisé résineusement, soit qu'on l'ait recouvert d'un papier humide, soit qu'on l'ait laissé nu.

En partant de ces phénomènes, le célèbre Volta, guidé par la théorie de Franklin qu'il avait adoptée et qui cadre

merveilleusement avec ces nouveaux effets, parvint bientôt, par la seule force de son raisonnement, à la découverte de l'instrument qui porte aujourd'hui le nom de *pile de Volta*, *pile galvanique*.

(673) *Construction d'une pile de Volta.* — La pile de Volta, telle qu'elle a été d'abord construite par ce savant, est composée de disques métalliques, *zinc* et *cuivre*, réunis en contact deux à deux; ces couples sont ensuite superposés dans le même ordre et séparés les uns des autres par des rondelles de carton ou de drap, imbibées d'eau; le tout est disposé entre trois colonnes de verre.

Depuis, on a beaucoup perfectionné cet appareil; actuellement on soude les plaques zinc et cuivre ensemble; par ce moyen, on obtient un contact plus parfait entre les métaux, et on évite leur oxidation. De plus, on emploie des plaques carrées; ce qui permet de disposer les couples de champ dans de petites caisses de bois construites à cet effet, et de les placer à une certaine distance les uns des autres : on remplit les intervalles avec un liquide, ce qui vaut infiniment mieux que les rondelles de drap imbibées d'eau. On a reconnu aussi qu'au lieu d'eau pure, il valait mieux employer des eaux chargées de sel et mieux encore des liquides acides.

On peut employer beaucoup de substances pour former une pile de Volta; mais l'expérience prouve que le zinc et le cuivre sont les deux corps qui méritent la préférence, parce qu'ils développent, par leur contact, plus d'électricité que tous les autres corps. Volta a reconnu qu'on peut employer à la construction de la pile, le sulfure de fer et le charbon de bois; Gautherot a formé une pile avec des disques de charbon de bois et des disques du schiste connu sous le nom de crayon noir des charpentiers; M. Davy a combiné avec succès les actions du charbon, de l'acide nitrique et de l'eau; il a de même formé un appareil galvanique, en alternant des plaques d'étain avec des couches l'eau et des couches de solution de potasse. On forme une

pile assez énergique en employant des plaques de crayon noir des charpentiers et des plaques de zinc. Enfin, on pourrait former des piles de Volta avec toutes les substances connues.

On fabrique actuellement, à Paris, de petites piles voltaïques, avec des rondelles de papier de la grandeur d'un pain à cacheter, dont une surface est dorée et dont l'autre est couverte d'une couche d'oxide noir de maganèse. Ces petites piles ont, comme on le conçoit, très-peu d'énergie; mais elles ont été employées pour former une sorte de mouvement perpétuel fort remarquable; et il est à observer qu'elles n'admettent dans leur construction aucun corps humide.

(674) *Théorie de la pile voltaïque.* — Il paraît que l'effet des corps humides se borne sensiblement à conduire le fluide électrique d'un couple à l'autre; c'est pourquoi les eaux chargées de sels, les liquides acides produisent de plus grands effets, parce qu'ils sont meilleurs conducteurs. Il suit de là que deux plaques qui sont séparées par un conducteur humide doivent avoir la même densité électrique.

Si on fait communiquer la pile, par une de ses extrémités (par une pièce de cuivre, par exemple), avec le réservoir commun, on trouve, en essayant chaque lame de cuivre, au moyen de la balance électrique, que, depuis le point de communication jusqu'à l'autre extrémité, les densités électriques de ces plaques suivent la progression $o, a, 2a, 3a$, etc.; en essayant de même les lames de zinc, on trouve que leurs densités électriques suivent la progression $a, 2a, 3a, 4a$, etc.

Nous tirerons de là cette conséquence que la différence, entre deux pièces en contact, est constante, soit que ces pièces se trouvent à l'état naturel ou non. Cela posé, soit 1 la somme des électricités vitrées et résineuses, dont l'une appartient au zinc et l'autre au cuivre; les plaques étant égales, l'état électrique du zinc pourra être représenté par $+\frac{1}{2}$, et l'état électrique du cuivre par $-\frac{1}{2}$; le

signe + indiquant l'électricité vitreuse, et le signe — l'électricité résineuse : la différence sera 1.

D'après cela, il est facile de rendre raison des expériences n.° 672; l'extrémité cuivre qu'on tient à la main, se trouve ramenée à zéro; donc l'état électrique du zinc doit être égal à 1 : or, en appliquant immédiatement cette seconde branche sur le plateau collecteur qui est de cuivre, la différence, entre l'état électrique du zinc et celui du cuivre doit être 1 ; donc il faut que l'état du plateau soit zéro. Si on interpose un conducteur humide, le contact n'existant plus entre les deux métaux de natures différentes, le plateau collecteur se trouvera électrisé vitreusement, et son état électrique sera 1.

Il est facile aussi de déterminer la distribution du fluide électrique dans l'intérieur d'une pile isolée ; prenons pour cela un exemple : soit 6 le nombre des couples, soit x l'état électrique inconnu de la première plaque, que nous supposerons de cuivre ; $x+1$ sera l'état électrique du zinc en contact ; $x+1$ sera aussi l'état électrique du cuivre suivant, à cause de l'interposition du conducteur humide ; $x+2$ sera l'état électrique du second zinz, $x+2$ l'état électrique du troisième cuivre, etc.; en sorte que les états électriques des six plaques de cuivre seront,

$$x,\ x+1,\ x+2,\ x+3,\ x+4,\ x+5;$$

les états des six plaques de zinc seront,

$$x+1,\ x+2,\ x+3,\ x+4,\ x+5,\ x+6.$$

En prenant les sommes on aura, pour la première série, $6x+15$, et pour la seconde $6x+21$.

Dans l'état d'isolement, ces deux sommes sont zéro, et on a $6x+15+6x+21=0$ d'où $x=-3$.

D'après cela, les différens états des plaques de cuivre sont,

$$-3,\ -2,\ -1,\ 0,\ 1,\ 2;$$

les états des six plaques de zinc sont,

$$-2,\ -1,\ 0,\ 1,\ 2,\ 3.$$

D'où l'on voit que les pièces à égales distances des ex-

trêmes ont la même densité électrique ; mais que l'une est électrisée vitreusement et l'autre résineusement. On voit aussi qu'au milieu de la pile, il y a deux pièces qui ont zéro d'électricité : c'est ce qui arrivera toujours lorsque le nombre des couples sera pair.

Supposons que le nombre des couples soit 7 ; les états électriques des 7 plaques de cuivre seront,

$$x,\ x+1,\ x+2,\ x+3,\ x+4,\ x+5,\ x+6\,;$$

les états électriques des 7 plaques de zinc seront,

$$x+1,\ x+2,\ x+3,\ x+4,\ x+5,\ x+6,\ x+7.$$

De leurs sommes égalées à zéro, on tire $x=-\frac{7}{2}$; de sorte que les états électriques deviennent pour les plaques de cuivre,

$$-\tfrac{7}{2},-\tfrac{5}{2},-\tfrac{4}{2},-\tfrac{1}{2},+\tfrac{1}{2},+\tfrac{3}{2},+\tfrac{5}{2}\,;$$

et pour les plaques de zinc,

$$-\tfrac{5}{2},-\tfrac{3}{2},-\tfrac{1}{2},+\tfrac{1}{2},+\tfrac{3}{2},+\tfrac{5}{2},+\tfrac{7}{2},$$

où l'on voit qu'il n'y a pas de plaques à zéro, mais que les pièces à égales distances des extrêmes possèdent toujours la même densité électrique, l'une étant chargée d'électricité vitreuse, l'autre d'électricité résineuse. On doit remarquer, en général, que les deux extrémités de la pile sont sollicitées par des électricités d'espèces différentes.

Supposons maintenant que la pile composée de six couples, communique avec le réservoir commun par l'extrémité cuivre, on aura $x=0$; et alors les états électriques de cuivre seront,

$$0,\ 1,\ 2,\ 3,\ 4,\ 5,$$

et ceux des plaques de zinc seront,

$$1,\ 2,\ 3,\ 4,\ 5,\ 6.$$

On voit que toutes les pièces sont à l'état d'électricité vitreuse ; donc la pile n'aura alors que cette espèce d'électricité.

Si on veut connaître la quantité d'électricité de la pile, il faudra ajouter les sommes des deux progressions ; la première donne 15 et la seconde 21, dont le total 36 exprime la charge de la pile : il est à remarquer que ce

nombre est le carré de 6 qui exprime la densité électrique de la dernière pièce de zinc. Il en est toujours de même, quel que soit le nombre des couples ; d'où l'on doit conclure que les effets qui dépendent de la quantité de fluide électrique, croîtront avec le nombre des couples, plus rapidement que ceux qui ne dépendent que de la densité de ce fluide.

Si on faisait communiquer la dernière plaque zinc avec le réservoir commun, on aurait encore $x=0$; mais les états électriques des plaques de zinc seraient,

$$0, -1, -2, -3, -4, -5;$$

ceux des plaques de cuivre seraient,

$$-1, -2, -3, -4, -5, -6;$$

d'où l'on voit que la pile serait chargée d'électricité résineuse ; la quantité de fluide serait exprimée par 36, carré de la dernière pièce de cuivre, pris négativement pour indiquer le fluide résineux.

Diverses expériences faites avec la pile.

Les phénomènes électriques que présente la pile de Volta, ont la plus grande analogie avec ceux que produit la machine électrique ordinaire ; il n'y a de différence que celles qui résultent de la disposition des appareils dans l'un et l'autre cas.

(675) *Attraction et répulsion.*— Si on accroche un fil métallique très-fin à chaque extrémité d'une pile isolée, qu'on approche ces fils l'un de l'autre, ils se précipiteront l'un sur l'autre ; *mais ils resteront unis.*

Si on accroche deux fils à une même extrémité et à côté l'un de l'autre, ils se repousseront mutuellement.

Si, après avoir appliqué la main à une extrémité de la pile, ou l'avoir fait communiquer d'une manière quelconque avec le réservoir commun, on applique à l'autre extrémité le crochet d'une bouteille de Leyde, que l'on tient par

la garniture intérieure, la bouteille se chargera d'électricité vitrée ou d'électricité résineuse, suivant qu'on la fera communiquer avec l'extrémité zinc ou avec l'extrémité cuivre. Dans le premier cas, si on présente ensuite le crochet de la bouteille à un électroscope électrisé vitrensement, au moyen de la machine ordinaire, il y aura répulsion; dans le second cas, il y aura, au contraire, attraction.

Si on touche à-la-fois les deux garnitures de la bouteille, on éprouvera une commotion comme si elle eut été chargée à une machine électrique ordinaire.

(676) *Commotion de la pile.* — Si, après avoir mouillé ses mains, on touche à-la-fois les deux extrémités d'une pile un peu forte, on éprouve une commotion, ou plutôt une sensation convulsive continue, qui s'étend d'autant plus loin dans les bras que le liquide dont la pile est chargée est meilleur conducteur; si plusieurs personnes se tiennent par la main, et que la première et la dernière touchent les extrémités de la pile, la commotion n'est sensible que pour les personnes placées aux extrémités. Lorsqu'on a les mains sèches, la commotion est presque nulle, parce que l'épiderme est un mauvais conducteur.

On voit, par ces expériences, que la commotion de la pile diffère un peu de la commotion de la bouteille de Leyde; mais il est facile de voir qu'il existe une grande différence entre ces deux appareils, le premier se décharge instantanément, et ne peut réparer la perte qu'il vient de faire; au contraire, la pile, par sa communication avec le réservoir commun, reprend continuellement du fluide naturel, qui est décomposé par l'action des métaux en contact; il en résulte une machine électrique permanente, et un courant non interrompu d'électricité.

Si la commotion ne se propage pas dans une chaîne de plusieurs personnes, c'est parce que la densité du fluide électrique est très-faible dans une pile, comparativement à ce qu'elle peut être dans une bouteille de Leyde.

La force de la commotion augmente avec le nombre

des plaques, ce qu'il est facile de concevoir; car alors la densité électrique est augmentée. Suivant les expériences de Van-Marum, la commotion est indépendante de la grandeur des plaques, en sorte qu'une pile à grandes plaques ne donne pas une commotion plus forte qu'une pile à petites plaques, du même nombre de couples. Ce résultat est assez extraordinaire, car une pile à grande plaque peut être considérée comme la réunion d'un certain nombre de piles à petites plaques, et devrait produire un effet proportionnel à ce nombre. Peut-être cette apparence de similitude des effets vient-elle de ce que nous n'avons pas de moyens exacts de comparaison.

(677) *Combustion des métaux.* — Lorsqu'on touche à-la-fois les deux extrémités d'une pile avec un fil-de-fer, par exemple, on observe une étincelle à l'endroit du contact; et si la pile est assez forte, le métal s'enflamme et brûle sur une certaine longueur : on peut ainsi brûler tous les métaux, et on obtient beaucoup plus facilement cet effet, que par le moyen des batteries électriques. La pile a d'autant plus d'activité, pour brûler des fils métalliques, que la surface des plaques est plus grande. M. Vilkinson a trouvé que les effets de deux piles, composées d'un nombre égal de couples, sont proportionnelles aux cubes des surfaces des plaques.

(678) *Décomposition des corps.* — On sait, depuis long-temps, que les fluides électriques ont la propriété de décomposer un grand nombre de corps. Le célèbre Lavoisier s'est servi, pour décomposer l'eau, de l'électricité produite par la machine ordinaire; M. Wollaston, en perfectionnant l'appareil de décomposition, est parvenu à produire des effets beaucoup plus sensibles, et à faire avec la machine électrique ordinaire tout ce que l'on fait avec la pile voltaïque ; mais, quoiqu'il en soit, l'appareil voltaïque est infiniment plus commode ; il est devenu, entre les mains des chimistes, et particulièrement de M. Davy, la source d'un grand nombre de découvertes précieuses

c'est au moyen de cet appareil que M. Davy est parvenu, il y a quelques années, à décomposer la potasse, la soude, la plupart des substances que les chimistes nommaient terres, et à mettre à nu le métal qui leur sert de base.

MM. Thénard et Gay-Lussac ont trouvé que les effets chimiques d'une pile de Volta sont proportionnels à la surface des plaques et à la racine cubique de leur nombre; d'où ils tirent cette conséquence, que, dans certaines circonstances, il vaut mieux se servir de piles séparées, de chacune un certain nombre de disques, que de les réunir bout à bout; puisque dans le premier cas, l'effet est proportionnel au nombre des plaques, et que dans le second, il est seulement proportionnel à la racine cubique de ce nombre : on ne doit employer de grandes piles, que dans le cas où il s'agit de séparer des élémens qui ne peuvent céder qu'à une force répulsive considérable, ou bien, lorsque le corps, qu'on se propose d'obtenir, se détruit facilement par le contact de l'air, comme les métaux de la potasse, de la soude, etc.; ce qui exige que l'opération soit prompte. (*Voyez*, dans la partie chimique, la manière d'opérer ces décompositions.)

CHAPITRE VII.

Electricité produite par la chaleur.

(679) Beaucoup de substances minérales, étant exposées à un certain degré de température, sont susceptibles d'acquérir la vertu électrique, et plusieurs présentent alors ce phénomène remarquable, que les deux extrémités sont sollicitées par des électricités d'espèces différentes. La *tourmaline* est surtout connue depuis long-temps par cette propriété; la topase est dans le même cas, etc. Pour faire des expériences avec la tourmaline, il faut choisir les aiguilles de cette pierre qu'on trouve naturellement dans diverses roches des montagnes d'ancienne formation.

Après avoir chauffé une tourmaline, si on la présente par une de ses extrémités, à un corps mobile à l'état naturel, elle l'attirera; si ce corps est électrisé vitreusement, par exemple, elle l'attirera par une extrémité et le repoussera par l'autre.

Si l'on se procure deux aiguilles de tourmaline, que l'on en fasse percer une à son centre de figure, de manière à pouvoir la placer sur un pivot vertical, comme l'électroscope, *fig.* 237; on verra, après les avoir fait chauffer, qu'elles exercent l'une sur l'autre des attractions et des répulsions, précisément comme deux corps qui auraient été électrisés par les moyens ordinaires.

(680) Si, après avoir chauffé une aiguille de tourmaline, on la casse en deux, par exemple, chaque partie se trouve électrisée et munie de deux pôles, comme l'aiguille entière. Coulomb explique ce phénomène, en considérant chaque molécule de la pierre qui est échauffée, comme

munie des deux pôles électriques. Pour faire voir comment cette hypothèse équivaut à l'admission d'un seul fluide répandu dans chaque moitié de la pierre, soient, *fig.* 247 ; vr, $v'r'$ $v''r''$, $v'''r'''$, des petites tourmalines qui peuvent représenter les molécules d'une longue aiguille, v étant le pôle vitreux, r le pôle résineux. Supposons que les densités électriques des pôles soient exprimées par les nombres placés au-dessus. Les 10 parties de fluide vitreux, placées en v, ne sont point altérées ; mais en r et v', les 10 parties de fluide résineux paralysent 10 de fluide vitreux ; en r' et v'', les deux fluides se paralysent entièrement ; en r'' et v''', les dix parties de fluide vitreux paralysent 10 parties de fluide résineux ; enfin, en r''', les 10 parties de fluide résineux restent libres. D'après cela il ne doit rester que du fluide vitreux dans la partie vr', et du fluide résineux dans la partie $v''r'''$. A partir du centre, les densités électriques vont en croissant de chaque côté, et sont 0, 5, 10.

CHAPITRE VIII.

Electricité de certains poissons.

(681) D'après les expériences d'un grand nombre de physiciens et de naturalistes distingués, on ne peut douter que plusieurs *espèces de raies, le gymnote engourdissant, le silure trembleur, le tetrodon et le trichiure électriques*, ne jouissent, par eux-mêmes, de la vertu électrique, et ne puissent la déployer à leur gré pour se défendre, ou pour étourdir les animaux qui doivent leur servir de proie. Si on touche ces animaux, on reçoit une commotion très-forte, que les pêcheurs évitent avec soin. M. de Humboldt, ayant reçu cette commotion en mettant le pied sur un gymnote qui venait de sortir de l'eau, en fut affecté toute la journée. On a tiré des étincelles des conducteurs mis en communication avec ces animaux, on y a chargé des bouteilles de Leyde, enfin, on a observé tous les phénomènes de l'électricité ordinaire.

(682) *La forme et la position de l'organe qui produit l'électricité*, sont très-variées suivant les espèces. (*Voyez* Geoffroy, Annales du Muséum d'hist. natur., 5.e cahier, pag. 392.) Dans les raies, ce sont des parties musculeuses disposées en feuillets transversaux, séparés par une matière gélatineuse et renfermés dans de nombreux petits tubes placés de chaque côté de la tête; dans le gymnote électrique, ce sont des réseaux larges et profonds placés au-dessous de la queue et dont les cellules sont remplies de matières gélatineuses; dans le silure trembleur, c'est un tissu extrêmement fin placé autour du corps.

L'électricité paraît être produite par le contact des parties musculeuses et des parties gélatineuses; c'est un fait très-important de physiologie animale, qui mérite d'être étudié avec soin.

CHAPITRE IX.

De la foudre.

(683) *Après avoir vu les effets violens* produits par la décharge des batteries électriques, avoir vu des animaux tués, des métaux fondus, brûlés, on sera moins étonné d'entendre dire que la foudre n'est encore qu'une forte décharge électrique ; mais ne confondons pas la foudre avec le bruit qui constitue le tonnerre.

L'identité de la foudre avec l'électricité a été soupçonnée, à-la-fois, vers le milieu du siècle dernier, par Nollet, Winkler et Franklin : celui-ci décida la question. Ayant reconnu le pouvoir des pointes, il soupçonna qu'une verge de fer, élevée sur un bâtiment, pourrait soutirer le fluide électrique. Dalibard fut le premier en France à vérifier cette conjecture ; il fit construire, auprès de Marly-la-Ville (Seine-et-Oise), une cabane qui portait une barre de fer de 13 mètres de longueur, isolée par le bas : un nuage orageux ayant passé près de cette barre, elle donna de vives étincelles : des bouteilles de Leyde furent chargées à de semblables machines, et on obtint enfin des résultats en tout semblables à ceux que produisent nos machines ordinaires.

Bientôt Romas, qui cultivait la physique à Lille, envoya vers les nuages orageux un cerf-volant couvert de taffetas, portant une barre de fer terminée en pointe : un fil de métal était entrelacé avec la corde, et se prolongeait à une certaine distance du point d'attache : le reste était un cordon de soie destiné à préserver l'observateur. On vit sortir de cet appareil des jets instantanés de lumière de 32 décimètres, et dont le bruit était semblable à un coup de pistolet.

Toutes les expériences de ce genre sont extrêmement dangereuses; plusieurs physiciens ont reçu des secousses violentes : le célèbre Richmann, professeur de physique à Saint-Pétersbourg, fut foudroyé par une étincelle qui se dirigea sur sa tête, et renversé auprès d'un appareil qu'il avait préparé pour mesurer l'électricité des nuages.

(684) *Paratonnerres.*— Franklin n'avait pas seulement en vue de faire des expériences électriques, il voulait préserver les édifices de la foudre, et, pour cela, élever des verges de fer terminées en pointe, qui communiquassent avec le sein de la terre. Telle est l'idée des paratonnerres. La construction de cet appareil demande quelques précautions; sans quoi, loin de préserver l'édifice, il pourrait lui nuire beaucoup.

Aujourd'hui, la verge de fer est terminée par une pointe de platine, métal qui n'est pas susceptible de s'altérer à l'air. Les conducteurs sont des tiges de fer qui vont se terminer dans un puits. On se sert aussi, pour conducteur, d'une espèce de corde formée de fils de fer tressés et enduite d'une couche de vernis gras; la corde se prolonge ainsi jusqu'au bord du puits, où elle est attachée à une barre de fer, dont l'autre extrémité plonge dans l'eau. Cette construction a quelques avantages sur l'autre.

Lorsqu'on veut élever des paratonnerres sur de grands édifices, il faut les multiplier, de manière à ce que leurs différentes sphères d'activité ne laissent aucun espace entr'elles. On a trouvé par expérience, que le rayon de cette sphère est de 10 mètres; en sorte qu'il suffit d'une distance de 20 mètres entre deux paratonnerres. S'ils étaient trop rapprochés, ils se nuiraient mutuellement.

(685) Lorsqu'on se trouve dans une maison dépourvue de paratonnerres, il faut, pour se garantir des effets de la foudre, se placer sur un corps isolant, comme quelques matelas, etc., et s'éloigner des portes, des croisées, des murailles, et surtout des objets métalliques.

Lorsqu'on est surpris par l'orage, en rase campagne, il

faut bien se garder de se placer sous un arbre dont les branches aigues attirent la foudre ; mais on peut se placer à 5 à 6 mètres de distance, parce qu'il est assez probable que la foudre, en tombant aux environs, se portera sur l'arbre.

(686) *Choc en retour.* — Parmi les différentes manières dont un homme peut être foudroyé, il en est une que lord Mahon (*) a nommée choc en retour, qui mérite d'être connue. Voici le fait : soit AB, *fig.* 248, un nuage électrisé dont l'explosion se fait en A ; un voyageur placé en C n'éprouvera aucune commotion, tandis qu'un autre placé en D pourra être foudroyé.

Supposons le nuage chargé d'électricité vitrée : si le voyageur placé en D se trouve dans la sphère d'activité de ce nuage, son fluide naturel sera décomposé; le fluide vitré sera repoussé dans le réservoir commun, et il se trouvera à l'état d'électricité résineuse. Si quelques circonstances déterminent une décharge en A, le fluide vitré repassera dans le corps du voyageur avec une force proportionnelle à l'énergie du nuage : la secousse qui en résultera pourra être assez forte pour le tuer. Les gens qui sont en C ne se trouvant pas dans la sphère d'activité du nuage, n'en éprouveront rien. La plupart des phénomènes qu'on a nommés *foudre ascendante*, rentrent dans le cas que nous venons d'examiner.

(687) *Bruit du tonnerre.* — Quant au bruit du tonnerre, on ne l'explique pas encore d'une manière bien satisfaisante. Tantôt ce bruit est un roulement comme une suite d'échos ; tantôt c'est une explosion subite, sans roulement, analogue à celle que produit la décharge simultanée d'une douzaine de pièces de canon ; c'est ce qu'on observe souvent dans le midi de la France. Il nous a paru, dans ce cas, que les nuages sont toujours très-près de terre.

(*) Principes d'électricité. Londres, 1781.

Plusieurs physiciens ont attribué le bruit du tonnerre à la combustion subite du gaz hydrogène qui, comme nous l'avons dit page 286, détonne violemment lorsqu'il est mêlé d'air atmosphérique ; mais l'analyse de l'air pris dans des régions élevées, n'a montré aucune trace d'hydrogène.

M. Monge observe que la foudre accompagne toujours la formation subite d'un grand nuage, soit qu'elle en soit la cause, soit qu'elle en soit l'effet ; ce savant tire de là une explication du bruit du tonnerre, qui mérite d'être rapportée. La formation de ce nuage, dit-il, est due à la condensation de la vapeur aqueuse, il en résulte par conséquent un vide dans la partie de l'atmosphère où elle a lieu : alors les couches environnantes se précipitent dans ce vide, et en se choquant avec violence elles occasionnent un bruit. Nous voyons tous les jours un effet analogue en ouvrant rapidement un étui dont le couvercle ferme exactement.

Les couches latérales de l'atmosphère qui ont fourni l'air pour remplir le vide, se dilatent nécessairement, prennent alors du calorique à la vapeur en contact, et la forcent de repasser à l'état d'eau ; par ce moyen, il se forme un nouveau vide qui, en se remplissant comme le premier, donne lieu à un second coup. Le même effet se reproduit successivement de proche en proche en peu d'instans. Telle est la cause qui donne lieu au bruit roulant que nous remarquons.

CHAPITRE X.

Des effets de l'électricité sur l'économie végétale et animale.

(688) *Manière de concevoir ces effets.* — Si l'on suspend au conducteur d'une machine un vase percé de très-petits trous, en sorte que l'eau puisse à peine en sortir lorsqu'il est à l'état naturel, et qu'on fasse jouer la machine, aussitôt l'eau sortira très-vite et sous la forme de jets divergens, parce que toutes les particules réagiront les unes sur les autres, en se repoussant mutuellement. C'est par cette expérience qu'on peut expliquer une grande partie des effets de l'électricité sur l'économie végétale et animale.

L'électricité favorise dans les plantes la circulation de la sève. Mimbray à Edimbourg raconte que deux myrtes qu'il avait électrisés, poussèrent des branches et des boutons plutôt que deux autres arbrisseaux de même espèce qui n'avaient pas été électrisés. Jallabert, à Genève, électrisa pendant quinze jours des oignons de jacinthes et de jonquilles, et leur végétation fût beaucoup plus rapide que celle des mêmes plantes non électrisées : plusieurs autres physiciens obtinrent des résultats semblables.

L'électricité favorise la transpiration des animaux, et ranime le jeu des fibres engourdies. Quelques physiciens expliquent par l'électricité l'effet des frictions sur les corps animaux, et l'effet que produit l'air sec et l'air des endroits élevés sur quelques personnes. L'électricité abondante dans l'air sec, disent-ils, favorise la circulation du sang, dilate les humeurs, etc.

(689) *Application de l'électricité en médecine.* — On a beaucoup vanté l'électricité comme moyen curatif pour un grand nombre d'affections morbifiques, mais en général la médecine a presqu'entièrement abandonné ces moyens ; cependant ils paraissent devoir être utiles en beaucoup d'occasions.

On applique l'électricité de plusieurs manières.

Par bains. Le malade est assis sur un fauteuil isolé, il communique avec le conducteur d'une machine en mouvement.

Par aigrettes. Une personne électrisée promène une tige pointue sur la partie malade, qui reçoit alors le fluide électrique par une aigrette.

Par étincelles. Le malade isolé communique avec le conducteur. On présente un excitateur à la partie malade, et on en tire des étincelles plus ou moins vives.

Par commotion. On emploie une bouteille de Leyde plus ou moins forte.

(690) *Mouvemens convulsifs produits dans les cadavres par l'électricité.* — En 1789, un étudiant en médecine de Bologne, qui disséquait une souris vivante, ayant touché un muscle avec son scalpel, ressentit une commotion semblable à celle que produit l'électricité. Ce phénomène se reproduisit chez Galvani, professeur d'anatomie de la même ville, qui fit des recherches particulières ; de là, le nom de galvanisme donné à l'électricité produite par contact.

On commença par forger beaucoup d'hypothèses sur la cause de ce phénomène. Nous devons au célèbre Volta de les avoir ramenées à leur véritable source, en faisant voir que les mouvemens convulsifs des cadavres qu'on soumettait aux expériences, étaient dus à l'action de l'électricité dégagée par le contact de deux métaux.

Si au moyen d'un conducteur composé de deux métaux soudés ensemble, on établit dans un corps animal une communication entre deux points, pris dans le système nerveux ou dans le système musculeux, il se produit un mouvement

convulsif, en vertu duquel les membres sont agités : les cadavres frais sont ceux qui produisent les effets les plus sensibles.

Les physiciens ont fait une multitude d'expériences sur des grenouilles, sur de grands animaux, sur des hommes même dont la mort était récente. M. Hallé a consigné dans un rapport fait à l'institut, une belle suite d'expériences galvaniques ; on peut aussi consulter l'ouvrage d'Aldini.

(691) M. Humboldt a eu le courage de se faire appliquer deux vésicatoires sur les épaules ; la sérosité qui en sortit devint rougeâtre et corosive quand l'une des plaies fut couverte d'une lame d'argent qu'on touchait avec du zinc. En mettant une pièce d'argent sur une plaie et une pièce de zinc sur l'autre, et faisant communiquer ces deux métaux, les muscles de l'épaule se contractaient fortement.

Lorsqu'on fait communiquer une pièce d'argent placée sous la langue avec une de zinc placée au-dessus, on éprouve une espèce de frémissement dans cet organe et une saveur acerbe.

LIVRE HUITIÈME.

DU MAGNÉTISME (*).

CHAPITRE PREMIER.

Des phénomènes principaux de l'aimant.

(692) *De l'aimant et de ses pôles.* — Parmi les différentes espèces de minerais de fer qui se trouvent dans le sein de la terre, il en est une qui a, comme les corps électrisés, la propriété d'attirer certains métaux (le fer, le nickel, le cobalt et le chrome). On donne vulgairement à ce minéral le nom de pierre d'aimant.

Il y a toujours dans une pierre d'aimant deux points opposés où la propriété attractive est plus forte. — Une lame coupée dans une pierre d'aimant, et dans le sens des points dont nous venons de parler, étant suspendue librement sur une aiguille, *fig.* 249, se dirige à-peu-près vers les pôles du globe; de là vient qu'on a donné le nom de pôles aux extrémités d'un aimant, et qu'on les désigne par les surnoms de *boréal* et d'*austral*.

(693) *On peut concevoir les effets magnétiques comme produits par l'action de deux fluides : le fluide austral*

(*) Magnétisme est dérivé de μάγνης, nom grec, de l'aimant.

et le fluide boréal. — En effet, le magnétisme présente des phénomènes analogues à ceux de l'électricité; car 1.° *les pôles de différens noms s'attirent; les pôles de même nom se repoussent :* c'est ce qu'on vérifiera, en présentant à chacun des pôles d'un aimant, la même extrémité d'un second aimant. Coulomb a prouvé par des expériences très-précises, que les attractions et les répulsions suivaient aussi la raison inverse du carré des distances. *Voy.* n.° 706;

2.° *Un morceau de fer, de nickel, de cobalt, placés au contact d'une pierre d'aimant, ou dans sa sphère d'activité, acquièrent la vertu magnétique et des pôles;*

3.° *Les deux fluides se paralysent mutuellement.* En effet, ayant deux aimants de même force et capables de porter une clef, par exemple, si on dispose l'un d'eux sur une table, de manière à ce que la clef soit suspendue à son pôle austral, et qu'on applique sur celui-ci le pôle boréal du second aimant, la clef tombera à l'instant même de la réunion.

(694) *Action d'un corps à l'état magnétique sur un corps à l'état naturel.*—Nous nommerons aussi fluide naturel la réunion des deux fluides. D'après cela on concevra que le fer, le nickel, le cobalt, possèdent une certaine portion de fluide naturel qui est décomposé par la présence d'un aimant, en sorte qu'un des composans est attiré dans une partie, tandis que l'autre est repoussé dans la partie opposée.

L'état de magnétisme dépend uniquement de la décomposition du fluide naturel; chaque aimant n'a jamais que sa quantité naturelle de fluide, et il ne peut en recevoir ni en communiquer aucune portion.

L'expérience prouve que le fer doux mis en présence du pôle d'un aimant, acquiert très-facilement la vertu magnétique; il faut concevoir alors que les deux fluides n'éprouvent, après leur séparation, que très-peu de résistance de la part des molécules propres du corps;

mais aussi, par la même raison, le fluide naturel est aussitôt recomposé, lorsque le métal n'est plus dans la sphère d'activité de l'aimant.

Au contraire, dans l'acier, il faut concevoir que les fluides éprouvent une grande résistance de la part des molécules du corps, car la propriété magnétique se communique plus difficilement; mais par là même elle est plus durable.

(695) *Moyens d'aimanter des barreaux d'acier.*— On a imaginé différens moyens pour communiquer la vertu magnétique à un barreau d'acier, et la porter au plus haut degré possible; un des meilleurs est celui qui est connu sous le nom de *méthode du double contact.*

Soit AB, *fig.* 250, un barreau d'acier : on prend deux pierres d'aimant qu'on applique au centre C de ce barreau, sous un angle d'environ 10^{d} à 12^{d}, et de manière à ce qu'elles se regardent par des pôles différens. On tire, en frottant, chaque aimant vers les extrémités du barreau, puis, sans les laisser toucher à ce barreau, on les reporte en C.

Par ce mécanisme, le pôle austral *a* de l'aimant décompose le fluide naturel du barreau, attire à lui le fluide boréal qui se distribue dans la partie CA, et repousse le fluide austral dans la partie CB. En même temps, le pôle boréal *b* du second aimant attire en CB le fluide austral, et repousse en CA le fluide boréal : ces quatre effets se combinent et communiquent promptement la vertu magnétique au barreau.

(696) *Des points conséquens.*—Les molécules de fluide boréal qui sont déjà accumulées au point A agissent par répulsion sur celles de même espèce qui tendent à y arriver; d'une autre part, les molécules du barreau d'acier opposent une résistance aux mouvemens des fluides : il peut arriver, en vertu de ces deux actions, que le fluide boréal s'engorge en quelque point *b'*, et même y abonde tellement qu'il détermine en *a'* une accumulation de fluide

austral : ce sont-là *des points conséquens.* Pour éviter cet inconvénient, Coulomb ne tirait pas les aimants *a* et *b* jusqu'aux extrémités du barreau.

(697) *Distribution des fluides magnétiques dans un barreau aimanté.* — Les deux fluides magnétiques sont distribués dans l'intérieur d'un barreau aimanté, de manière que les densités magnétiques sont égales dans les points opposés, qu'elles sont très-considérables aux extrémités, et décroissent très-rapidement en allant au centre, où il y a zéro. On jugera de cette disposition en faisant mouvoir un barreau aimanté vis-à-vis une petite aiguille. Mais on trouvera toujours deux points situés près des extrémités où l'action est plus forte. Ces points se nomment *centres d'action.* Dans un barreau de $0^m,675$, les centres d'actions sont à 22 millimètres des extrémités.

Nous avons vu (680) qu'en brisant une tourmaline électrisée par la chaleur, chaque partie prise séparément présentait les deux espèces d'électricité; nous trouvons un phénomène semblable à l'égard de l'aimant; car, si on brise un barreau aimanté, on observe que chaque partie présente les deux pôles comme le barreau entier. Coulomb explique ce phénomène comme celui de la tourmaline.

(698) *Action d'un gros barreau magnétique sur une petite aiguille mobile qui lui est présentée sous diverses positions.* — Soit *fig.* 251, un gros barreau aimanté, et soit, *fig.* 252, une petite aiguille mobile sur un pivot; si on place la petite aiguille *ab* en C, *fig.* 251, sur le barreau aimanté, le pôle austral A attirera le pôle boréal *b*; et le pôle boréal B attirera le pôle austral *a* : l'attraction étant la même de part et d'autre, l'aiguille *ab* restera horizontale.

Si on porte l'aiguille de C en B le pôle *a* s'inclinera, parce que les attractions ne sont plus égales. Si, au contraire, on porte l'aiguille de C en A, le pôle *b* s'inclinera sur A.

Si on transporte l'aiguille sur la ligne CD, elle restera horizontale et parallèle au barreau, parce que les attractions sont encore égales. Si on l'écarte à droite de CD, l'équilibre étant troublé, elle s'inclinera à l'horizon, et de plus prendra une position telle que *cd*, en faisant un angle avec la direction du barreau. Si on écarte l'aiguille à gauche, elle prendra la direction *ef*.

Si on dispose une série de petites aiguilles sur deux bandes parallèles, *fig.* 253, et qu'on place ensuite entre ces deux bandes, un barreau aimanté, les aiguilles prendront la position *fig.* 254 : ce qu'il est facile d'expliquer d'après ce qui précède.

(699) ***La force magnétique s'exerce à travers tous les corps.*** — Si on met un aimant sous un plateau de verre, par exemple, sur lequel on répande ensuite de la limaille de fer, on verra les parcelles de ce métal s'arranger dans une espèce d'ordre et former des courbes qui toutes se croiseront en des points situés au-dessus des pôles de l'aimant. La figure 255 peut donner une idée de cet arrangement.

Cette expérience, regardée par quelques physiciens comme la preuve évidente de l'action des tourbillons magnétiques qu'avait inventés Descartes, s'explique facilement comme l'expérience précédente, en regardant chaque particule de fer comme une petite aiguille.

CHAPITRE II.

Du globe terrestre considéré comme aimant.

(700) *Vertu magnétique acquise naturellement.* — Les barres de fer qui ont une position fixe acquièrent naturellement la vertu magnétique. La première observation de ce genre a été faite par Gassendi sur la tige qui soutenait la croix du clocher de Saint-Jean d'Aix en Provence. Les pelles, les pincettes et tous les instrumens de fer mou dont nous nous servons habituellement, acquièrent la vertu magnétique; mais les pôles sont variables et se renversent continuellement, selon la position que nous leur donnons. Les ouvriers savent bien que leurs limes, leurs ciseaux, etc., acquièrent par l'usage la vertu magnétique.

Si on dispose une barre de fer inclinée d'environ 72^d sur l'horizon, et faisant un angle de 22^d avec le méridien du lieu, elle acquiert une vertu magnétique considérable, surtout si on lui imprime de petites secousses.

(701) *Variation dans la position d'une aiguille magnétique suivant les différens points de la terre.* — Dans une aiguille suspendue librement, les pôles se dirigent à-peu-près vers les pôles du globe. Il résulte de là qu'on doit nommer pôle boréal de l'aiguille l'extrémité tournée vers le pôle austral du globe considéré comme aimant, et pôle austral l'extrémité tournée vers le pôle boréal du globe.

M. de Humboldt, dans son voyage en Amérique, a

trouvé qu'à 7ᵈ 1' de latitude australe, 70ᵈ41' de longitude occidentale, l'aiguille restait parfaitement horizontale.

Lapeyrouse a rencontré un semblable point sur les côtes du Brésil à 10ᵈ 57' de latitude australe, 25ᵈ 75' de longitude occidentale. M. Biot, en partant de ces observations, a trouvé que ces points étaient sur un cercle dont le plan serait incliné de 10ᵈ 58' 56'' sur l'équateur terrestre, et le rencontrerait à 120ᵈ 2' 5'' à l'occident de Paris, près des îles Gallapagos, et à 59ᵈ 57' 55'' à l'orient, c'est-à-dire, dans la mer des Indes. Le plan de ce cercle est nommé *équateur magnétique*.

A droite et à gauche de l'équateur magnétique, l'aiguille s'incline de plus en plus à l'horizon à mesure qu'on avance vers un pôle ou vers l'autre. Cette variation de l'aiguille porte le nom d'*inclinaison*.

L'aiguille n'est pas non plus dirigée partout vers les pôles du globe; ou, en d'autres termes, il n'y a que quelques points où la direction de l'aiguille coïncide exactement avec le méridien du lieu; dans les autres, elle est inclinée sur le méridien, soit vers l'est, soit vers l'ouest.

On nomme *méridien magnétique* d'un lieu le plan qui passe par la direction de l'aiguille: l'angle formé par ce plan avec le méridien du lieu se nomme *angle de déclinaison*.

(702) *Conséquences des observations précédentes.* — Les observations que nous venons de citer sont fort analogues aux résultats obtenus dans le chapitre précédent. Ainsi, une barre de fer, placée à la surface de la terre, acquiert la vertu magnétique comme un morceau de fer placé devant un aimant, n.º 694. D'un autre côté, l'aiguille reste horizontale en certain point de la terre, comme lorsqu'elle est placée au milieu du barreau aimanté, n.º 698; elle s'incline à l'horizon à mesure qu'on l'écarte de ce point vers une extrémité ou vers l'autre, etc. On ne peut s'empêcher de conclure de ces faits, que le globe terrestre agit comm·

un gros aimant sur les corps qui sont dans sa sphère d'activité; mais nous ignorons d'où vient cette action, aussi bien que nous ignorons ce que c'est que le magnétisme lui-même.

(703) *Expérience qui porte à croire que tous les corps sont magnétiques.* — Coulomb ayant pris deux barreaux aimantés, et les ayant disposés sur une même ligne droite, de manière que leurs pôles opposés étaient éloignés de 15 millimètres, il plaça successivement, dans l'espace intermédiaire, de petits cylindres de diverses matières suspendus à un fil de soie tel qu'il sort du cocon. Il observa que ce cylindre, de quelque matière qu'il fût composé, se disposait exactement suivant la direction des barreaux, et y était constamment ramené si on le dérangeait de sa position. Nous observerons cependant que cela ne réussit pas toujours.

Cette expérience peut porter à croire que tous les corps possèdent la vertu magnétique; mais que dans la plupart elle est presqu'insensible. Elle conduit à considérer le globe terrestre comme un aimant unique, et à regarder son action magnétique comme la résultante des actions de toutes les particules magnétiques qui le composent.

(704) *Intensité de la force magnétique du globe, depuis les pôles jusqu'à l'équateur.* — Nous avons vu n.° 103, qu'on pouvait juger de l'intensité de l'attraction terrestre, à diverses latitudes, par les nombres d'oscillations du pendule. On peut de même juger de l'intensité de l'action magnétique, en écartant une aiguille magnétique de sa ligne de repos dans un lieu donné, et l'abandonnant ensuite à elle-même. L'intensité magnétique sera proportionnelle au carré du nombre d'oscillations faites par cette aiguille dans un temps donné.

M. de Humboldt a reconnu qu'une aiguille qui faisait à Paris 245 oscillations en 10 minutes, n'en faisoit au Pérou que 211. Ainsi, les intensités magnétiques de Paris au Pérou, sont comme les nombres $(245)^2$, $(211)^2$; d'où il suit

que l'intensité magnétique va, comme l'action de la gravité, en diminuant des pôles à l'équateur ; mais, d'après l'observation de M. Gay-Lussac, elle ne diminue en rien à mesure qu'on s'élève au-dessus de la surface de la terre.

(705) *Variations de l'inclinaison et de la déclinaison de l'aiguille dans un même lieu.* — L'inclinaison de l'aiguille, dans un lieu déterminé, change un peu avec le temps : elle était de 71^{d} à Paris, en 1787; elle est aujourd'hui de $57^{d}\,45'$.

La déclinaison varie aussi dans chaque lieu avec le temps, en sorte que les bandes sans déclinaison changent continuellement de position et de figure. La bande sans déclinaison qu'on observe actuellement en Amérique traversait l'Europe vers la fin du $16.^{me}$ siècle et au commencement du $17.^{me}$. La déclinaison était nulle à Paris en 1666; 136 ans après, en 1802, M. Bouvard l'a trouvée de $22^{d}\,3'$ nord-ouest.

Il arrive aussi que l'aiguille reste stationnaire pendant un certain temps. Elle ne fit aucun mouvement à Paris depuis 1720 jusqu'à 1724, où la déclinaison a été constamment de $13.^{d}$ Depuis plusieurs années l'aiguille n'a pas fait de mouvemens sensibles.

Outre ces variations, l'aiguille est encore sujette à une variation diurne. Elle s'avance en général vers l'ouest le matin, et rétrograde le soir vers l'est.

On observe encore des variations particulières connues sous le nom *d'affollemens.* L'aiguille paraît quelquefois agitée par un temps d'orage, souvent aussi lorsqu'il paraît une aurore boréale, enfin aux approches des montagnes abondantes en fer oxidé magnétique.

Les variations d'inclinaison et de déclinaison nous montrent que les centres d'action magnétique du globe changent continuellement de position.

(706) *Les actions magnétiques suivent la raison inverse des carrés des distances.* — Nous avons déjà annoncé cette propriété ; nous sommes actuellement en état de la



démontrer. Coulomb y est parvenu par deux méthodes différentes : nous n'en citerons qu'une.

Une petite aiguille étant d'abord à 108 millimètres du centre d'action d'un fil d'acier de 68 centimètres, fit 41 oscillations en une minute. Placée ensuite à une distance double, elle n'en fit plus que 24 ; or, les forces qui font osciller une aiguille étant proportionnelles au carré du nombre des oscillations faites dans l'unité de tems (764), les forces sont ici dans le rapport de 1681 à 576.

Pour avoir l'action réelle du barreau sur l'aiguille ; il faut retrancher l'action du globe ; or, Coulomb avait trouvé que l'aiguille abandonnée à la seule action du globe, faisait 15 oscillations en une minute ; donc cette action est représentée par 225. En retranchant ce nombre de 1681 et de 576, il reste pour les actions du barreau aux distances 1 et 2, le rapport 1456 à 351, peu différent de 4 à 1 (*) ; donc 1 : 2 :: 4 : 1 ; c'est-à-dire que les actions magnétiques suivent la raison inverse des carrés des distances.

(*) La différence 13 qui se trouve entre 351 et le quart de 1456 qui est 364, n'est très-sensible que parce qu'elle tombe sur le carré du nombre d'oscillations ; en sorte que la différence qui lui correspond, relativement au nombre même, n'est qu'une fraction de l'unité. Si, par exemple, on avait eu $24\frac{1}{4}$ pour le nombre d'oscillations, en retranchant 225 de son carré, il serait resté 363 plus une fraction, nombre qui approche beaucoup de 364.

CHAPITRE II.

De quelques instrumens magnétiques.

(707) *Des armures.* On a trouvé le moyen d'augmenter la vertu magnétique d'une pierre d'aimant, en lui associant des lames de fer doux qu'on nomme armures. La fig. 256 représente une pierre d'aimant armée ; *a b c d e*, représentent des lames de fer appliquées sur les pôles de la pierre et terminées en *b c d e*, par un prolongement épais. Le tout est soutenu par des ligatures de fer.

Effets des armures. Le fluide austral A de la pierre, décompose le fluide naturel de l'armure *a b c d e*, attire le fluide boréal de la jambe *a b*, et repousse le fluide austral dans la partie la plus éloignée : la jambe *a b* étant peu épaisse, le fluide austral de la pierre agit fortement sur le fluide austral de l'armure, et le repousse en grande partie dans le pied *b c d e*.

Le fluide boréal accumulé dans la jambe *a b*, décompose du fluide naturel dans la pierre, et attire le fluide austral au pôle A qui dès-lors devient plus énergique : il faut en dire autant de l'autre armure.

Si la jambe *a b* était trop mince, elle contiendrait peu de fluide naturel, et dès lors le pôle A ne repousserait que peu de fluide austral en *b c d e*. Si au contraire elle était trop épaisse, elle retiendrait du fluide austral dans son épaisseur, et ce fluide nuirait à l'action du fluide boréal. C'est à l'artiste à chercher par tâtonnement l'épaisseur qu'il convient de donner, pour produire le maximum d'effet.

On applique au-dessous de l'aimant un morceau de fer doux, fig. 257, qu'on nomme *ancre* ou *contact*.

(708) *Des aimants artificiels.* — Ce sont des barreaux

d'acier aimantés auxquels on donne différentes figures. L'aimant le plus simple est en fer à cheval, parce qu'on a reconnu que quand les deux pôles agissent à-la-fois, l'attraction est plus forte. Ceci est d'accord avec la théorie.

Une autre espèce d'aimant artificiel est composé de baguettes d'acier aimantées, et réunies en faisceaux par des ligatures de cuivre. On a soin de disposer les pôles semblables d'un même côté.

Une troisième espèce est composée de lames horizontales réunies entre deux armures, comme un aimant naturel.

(709) *De la boussole.* C'est une aiguille aimantée qui se meut librement sur un pivot, au centre d'une boîte, dont le contour est divisé en 32 parties, qu'on nomme rhumbs des vents.

Les marins corrigent l'effet de l'inclinaison en chargeant d'un petit contre poids l'une des extrémités de l'aiguille; l'extrémité australe lorsqu'ils sont dans les contrées boréales, et l'extrémité boréale lorsqu'ils sont dans les contrées australes.

(710) *De l'aiguille d'inclinaison.* La meilleure manière de disposer cette aiguille, pour des expériences exactes, est de la suspendre à un fil de soie, tel qu'il sort du cocon, ou à un assemblage de ces fils réunis dans le sens de leur longueur. Cette suspension ne donne aucune sorte de frottement, ni aucune force de torsion appréciable.

On applique cette aiguille vis-à-vis un arc de cercle vertical, exactement divisé en dégrés minutes et secondes, pour mesurer l'inclinaison à l'horizon.

On doit placer cette aiguille dans le plan du méridien magnétique.

(711) *Aiguille de déclinaison.* — C'est une aiguille aimantée en équilibre sur un pivot. Dans nos contrées l'extrémité boréale doit être plus légère que l'extrémité australe, et cela de manière que l'aiguille puisse se mouvoir bien horizontalement. Le dégré de déclinaison se marque sur un cercle horizontal.

Tous ces instrumens doivent être faits avec beaucoup de soins.

Il existe un grand nombre de machines dont se servent les gens qui font des tours d'adresse. Elles sont toutes fondées sur ce que l'action magnétique s'exerce à travers tous les corps ; de manière qu'on peut cacher des aimants qui produisent des effets plus ou moins surprenans pour celui qui n'en connaît pas la cause.

---

(712) Il est de fait que le magnétisme a quelqu'action par l'économie animale : il calme les douleurs de dents, les migraines, il provoque quelquefois une abondance de sang à l'endroit où on l'applique ; il produit en général une action assez marquée sur les maladies nerveuses.

Quelques charlatans s'emparèrent de ce remède et voulurent le rendre universel ; bientôt on n'entendit plus parler que des guérisons vraiment miraculeuses de l'aimant ; ce qui n'a pas peu contribué à faire révoquer en doute ses véritables effets.

ADDITIONS.

Pag. 113. Nous avons rapporté, n.° 176, l'expérience par laquelle on croit prouver que les corps solides, comme le marbre, le verre, etc., sont compressibles : nous avons annoncé alors notre opinion sur l'inexactitude de la conséquence qu'on en tire. Nous avons soupçonné tout récemment, que la tâche circulaire d'un certain diamètre qu'on remarque à l'endroit du choc, était due à la rapidité avec laquelle l'air s'échappe tout autour du point choqué à l'instant du choc. En effet, si on prend une plaque de marbre blanc, qu'on l'enduise d'une légère couche de graisse colorée en noir, on verra, après avoir laissé tomber une bille dessus d'une certaine hauteur, que la matière grasse est disposée tout autour de la tache en rayons divergens du centre à la circonférence ; ce qui semble avoir été produit par le mouvement de l'air. Souvent le centre de la tache circulaire est encore couvert de graisse noire, et le déplacement de cette matière n'a eu lieu qu'à une certaine distance.

Nous aurions desiré faire l'expérience dans le vide, au moyen d'un tube, comme *fig.* 11, à une extrémité duquel serait disposée une petite plaque de marbre couverte de graisse noire, et sur laquelle on laisserait tomber une bille de marbre ; mais un voyage précipité ne nous laisse pas le temps de disposer cet appareil ; l'expérience est cependant importante à faire. Nous nous en occuperons aussitôt que nous le pourrons.

Pag. 122. *Divers effets qui se rapportent à l'inéga-*

lité d'élasticité des différentes parties d'un corps. — Il est évident que si, dans un corps, il se trouve des parties qui soient douées d'une plus grande élasticité que les autres, elles exerceront une traction qui pourra produire la rupture dans quelques circonstances. C'est ce qui a lieu dans les *larmes bataviques* ou larmes de verre, qu'on obtient en laissant tomber dans l'eau des gouttes de verre fondu. On sait qu'il suffit de casser la pointe d'une de ces larmes pour la faire éclater et réduire en poussière. L'explication de ce phénomène nous conduira à celle de quelques autres analogues.

Commençons par remarquer que le verre à l'état liquide, ou à l'état de mollesse, occupe plus de place que quand il est solidifié (liv. 5.) Remarquons ensuite qu'au moment de l'immersion, la couche extérieure de la goutte de verre se solidifie, en se modelant, en quelque sorte, sur la partie intérieure qui est encore molle, et, par conséquent, dilatée. Cela posé, lorsque l'intérieur de la larme batavique vient ensuite à se refroidir, la matière tend à diminuer de volume; mais elle se trouve alors maintenue par la couche extérieure qui est déjà solidifiée; donc, après le refroidissement, elle est obligée d'occuper l'espace qu'elle comprenait au degré de chaleur rouge. Il résulte de là, que les parties intérieures sont dans un certain état de tension, et que si on vient à entamer la couche extérieure, en cassant la pointe des larmes, par exemple, elles se détendent avec force, se heurtent et se réduisent mutuellement en poudre.

Il arrive quelquefois dans les monnaies, qu'après avoir fait un *coin*, l'avoir trempé et essayé, on le place dans une armoire pour s'en servir au besoin; mais, lorsqu'on va ensuite le chercher, il arrive souvent qu'on le trouve fendu. Cet effet est facile à expliquer; car, lorsqu'on trempe l'acier, la couche extérieure se trouve aussi saisie par le froid, et s'oppose ensuite au retrait qu'éprouveraient les parties intérieures dans un refroidissement lent; aussi n'y a-t-il que la partie extérieure qui soit trempée. Or, il

peut arriver que la tension des parties intérieures soit assez forte pour faire rompre la couche extérieure ; ce qui explique l'accident qui arrive aux coins.

Il se présente aussi divers autres effets analogues ; par exemple, on peut souvent observer sur les gobelets de verre, les caraffes dont nous nous servons habituellement, de petites fissures horizontales très-multipliées qui se trouvent à la surface de la partie concave. Ces fissures nous paraissent tenir à ce que, lors de la fabrication, la surface convexe extérieure s'est refroidie la première, tandis que la surface intérieure conservait encore un certain état de mollesse ; lorsque cette surface est venue à se refroidir, elle s'est trouvée maintenue par la couche extérieure, et obligée par elle à occuper un espace plus grand que celui qu'elle aurait pu prendre naturellement ; il en résulte, dans cette partie, un certain ressort qui, par son action, peut produire toutes les petites fissures observées.

Il peut arriver que la rupture ne se fasse pas précisément à l'instant de la fabrication ; de sorte qu'on peut acheter des gobelets, des caraffes, etc., dont on se serve quelquefois assez de temps, et qui se brisent ensuite au plus léger choc, ou même sans qu'on y touche en aucune manière ; dans ce dernier cas, on accuse souvent les enfans ou les domestiques de ces petits accidens, qui peuvent cependant avoir lieu d'eux-mêmes, comme nous l'avons vu quelquefois sous nos yeux.

Pag. 125. Nous avons annoncé qu'on avait essayé d'expliquer la dureté de l'acier trempé de plusieurs manières, et qu'il n'y en avait aucune qui fût pleinement satisfaisante : mais l'explication des effets de la larme batavique a conduit à expliquer les effets de la trempe d'une manière assez naturelle. Dans la trempe de l'acier, dit M. Thénard (chimie, tom. 1, pag. 340), c'est aussi la couche extérieure qui, se trouvant saisie par le froid, s'oppose au retrait qu'éprouveraient les parties intérieures dans un refroidissement

lent; aussi un ressort perd-il sa force, quand, après l'avoir trempé, on enlève la couche extérieure; l'acier doit donc la propriété dont il jouit, sa dureté, sa fragilité, son élasticité, à l'état de tension où se trouvent ses particules.

On pourrait se demander actuellement, continue M. Thénard, pourquoi les autres métaux ne sont pas susceptibles de se tremper (*), pourquoi le fer lui-même, privé de charbon, ne jouit pas de cette propriété; mais nous avouerons que, jusqu'à présent, il est difficile, pour ne pas dire impossible, de résoudre cette question.

Pag. 131. Nous avons parlé dans le paragraphe 201 de la cassure conique qui se manifeste dans une masse compacte homogène: observation que l'on doit à M. Gillet de Laumont, inspecteur général au corps royal des mines. Le 9 octobre dernier, depuis l'impression de cet article, M. De Montégre, rédacteur de la Gazette de Santé, a fait voir à quelques personnes qui se trouvaient à la séance de l'Institut, une agate qui semblait présenter intérieurement les traces d'un palmier, ou plutôt d'un corps marin c'est ce que crurent plusieurs naturalistes. M. De Laumont, en voyant cette pierre, prononça aussitôt qu'elle avait été préparée artificiellement, et que l'espèce de réseau qu'elle présentait était dû à un assemblage de petits cônes produits à petits coups frappés les uns à côté des autres avec un poinçon. Telle fut aussi mon opinion lorsque je la vis Nous avons produit, le soir même, chez M. De Laumont des accidens parfaitement semblables sur des pierres à fusi ordinaires, sur des agates et sur des jaspes. M. de Drée nous a montré une agate montée en bague, qu'il posséde depuis long-temps, renfermant plusieurs de ces cônes qui y produisent un effet agréable.

(*) Nous avons cité, pag. 125, l'expérience de M. Darcet qui a fait voir que le bronze devenait mou, lorsqu'on le plongeait dans l'eau après l'avoir fait rougir, et qu'il devenait très-dure lorsqu'on le laissait refroidir lentement à l'air.

La pierre présentée par M. De Montègre et qui a été rapportée d'Italie par M. Moreau de Saint-Méry, a été polie après coup, de manière que les sommets d'une partie des cônes ont été enlevés et que leurs bases réunies offrent l'aspect d'un corps organisé. C'est ainsi que quelques marchands d'Italie savent donner aux agates, par une disposition artificielle, un aspect particulier qu'ils présentent comme naturel, et qui est fait avec assez d'adresse pour en imposer.

Pag. 135. On peut ajouter à l'article, de l'influence de la forme d'un corps sur sa résistance, des effets qui sont connus de tout le monde. On sait qu'on peut serrer fortement un œuf entre ses mains sans le briser, tandis que si la coque était réduite en plaque, le moindre effort la briserait facilement. On sait aussi que le verre d'une montre, lorsqu'il est bien appuyé par ses bords, peut supporter une pression considérable sans être rompu. Par la même raison, une poutre ou une barre de fer arquées présentent plus de résistance qu'une poutre ou une barre de fer droite de même dimension transversale, et dont la longueur serait égale à celle de la corde de l'arc; c'est pour cela que dans diverses constructions, on emploie de préférence des pièces de bois ou des barres de fer courbées.

Pag. 277. Le paragraphe 387, que nous avons extrait de l'Hydrodynamique de Bossut, est à-peu-près insignifiant. Depuis l'impression de cet article, M. Cauchy et M. Poisson ont lu, à l'Institut, des mémoires fort intéressans sur la propagation des ondes. Il résulte de ces mémoires, que la propagation de l'onde à la surface d'une masse liquide d'une assez grande profondeur, se fait par un mouvement uniformément accéléré : d'où il suit que la largeur de l'onde augmente comme le carré du temps. Si on suppose que la masse de l'onde soit constante, il s'en suit que les hauteurs successives de l'onde, dans un canal, sont en raison inverse des carrés des temps, et que dans les ondes circulaires, les hauteurs successives sont en rai-

son inverse des 4.mes puissances des temps. Dans ce dernier cas, on trouve que la vitesse, quoique toujours uniformément accélérée, est plus grande que dans les ondes parallèles.

Lagrange avait trouvé, depuis long-temps, que dans le cas d'une profondeur liquide infiniment petite et constante, la propagation des ondes se ferait par un mouvement uniforme : c'est ce qui est encore confirmé par le mémoire de M. Poisson.

On voit, d'après les résultats que nous venons d'énoncer, que si l'onde peut se propager sur une large surface, elle finira par devenir d'elle-même absolument insensible; c'est ce qu'on remarque facilement à l'égard des ondes circulaires, et ce qu'on remarque aussi à la mer où la vague qui est très-élevée en un certain point, finit par devenir insensible, par mourir, suivant l'expression des marins, après s'être propagée à quelque distance.

Nous ferons remarquer, en passant, que les monticules de sable qui forment les dunes qu'on trouve en plusieurs endroits des côtes de l'Océan, et dont l'aspect rappelle les vagues de la mer, vont aussi en diminuant de hauteur et en augmentant de largeur. Il serait intéressant de rechercher la loi de cette variation. Ces monticules changent souvent de figure et de position, parce que les sables mouvans qui les composent sont facilement déplacés et transportés par les vents. (*Voyez* la Minéralogie.)

Pag. 363. *Ventriloques.* — Depuis l'impression de cet article, il nous est parvenu un rapport fait à l'Institut par MM. Hallé, Pinel et Percy, sur un mémoire présenté à la classe par M. De Montègre, à l'occasion du fameux ventriloque M. Comte, qui se trouve dans ce moment à Paris. M. De Montègre est entré dans beaucoup de détails, qui au fond se rapportent à ce que nous avons dit brièvement dans notre article; mais MM. les commissaires sont entrés dans des détails extrêmement intéressans sur les illusions des sens, sur l'action respective des organes qui con-

courent à la formation de la voix : ils font remarquer que le plus ou le moins de capacité de la poitrine, les divers retentissemens qui ont lieu dans son intérieur et qu'on sent très-bien lorsqu'on applique sa main sur sa poitrine pendant qu'on parle, contribuent à donner à la voix des qualités particulières. D'après cela, pour qu'un homme ordinaire puisse éteindre sa voix, la modifier de manière à lui faire prendre l'apparence d'une voix éloignée, il faut qu'il contraigne et rétrécisse sa poitrine. Ils citent à cet égard le sentiment du docteur Lauth qui distingue deux espèces de ventriloques : dans les uns la voix artificielle se forme dans le gosier et simule spécialement celle qui viendrait des différens points d'une chambre : dans les autres, la voix paraît venir de l'intérieur du corps et particulièrement du centre de la poitrine, du ventre, etc. L'artifice des premiers est peu fatigant ; mais celui des seconds, qui paraît préparé par une longue et forte inspiration, est pénible. Ce sont les ventriloques de cette dernière espèce qui méritent réellement le nom qu'on leur donne : c'est de ce genre qu'étaient nécessairement les Pythonisses.

Pag. 396. En faisant l'expérience que nous avons indiquée n.° 491, 2.me alinéa, on voit souvent au premier instant la colonne liquide diminuer beaucoup de hauteur ; cet effet tient à ce que le verre se dilate, et qu'alors la capacité de la boule de verre augmente. Ce n'est qu'après ce premier effet que la colonne liquide commence à s'élever dans le tube.

Pag. 509. On peut déjà conclure de ce que nous avons dit n.° 600, que l'axe de cristallisation d'une substance n'a aucune influence pour communiquer les mouvemens d'oscillation ou de rotation continue aux molécules lumineuses polarisées. Cette conclusion est mise en évidence par un mémoire lu à l'institut le 23 octobre 1815, où M. Biot prouve que les molécules d'un rayon de lumière polarisé prennent un mouvement continu de rotation en traversant une couche d'huile de térébenthine.

TABLE ALPHABÉTIQUE

DES MATIÈRES

CONTENUES DANS CETTE PARTIE.

A.

B.

C.

D.

E.

F.

G.

H.

I.

J.

K.

L.

M.

N.

O.

P.

R.

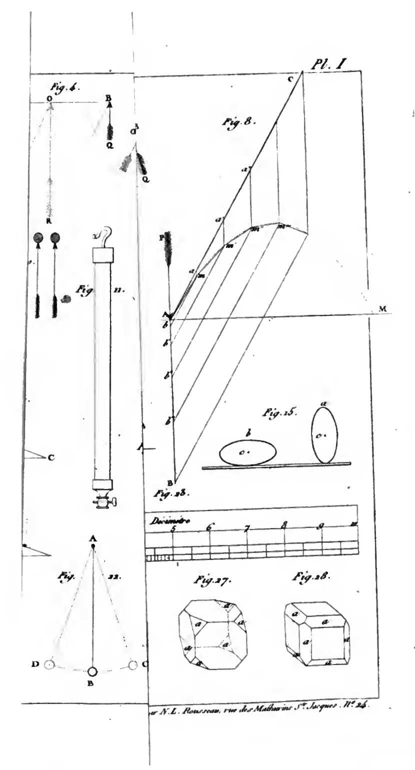
S.

T.

V.

U.

Z.

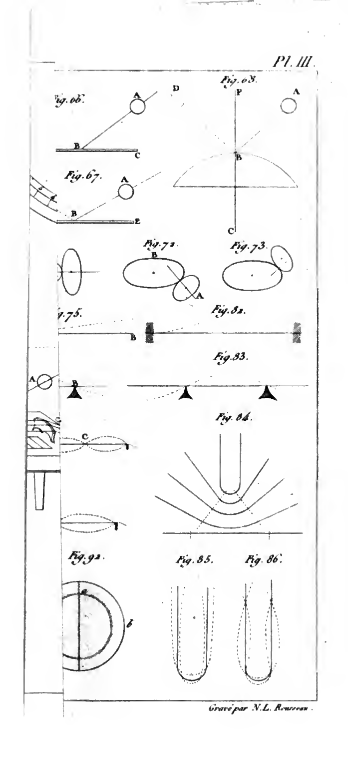

Pl. I
Fig. 4.
Fig. 8.
Fig. 11.
Fig. 15.
Fig. 22.
Fig. 23.
Décimètre
Fig. 27.
Fig. 28.
ur N. L. Rousseau, rue des Mathurins St. Jacques. No. 24.





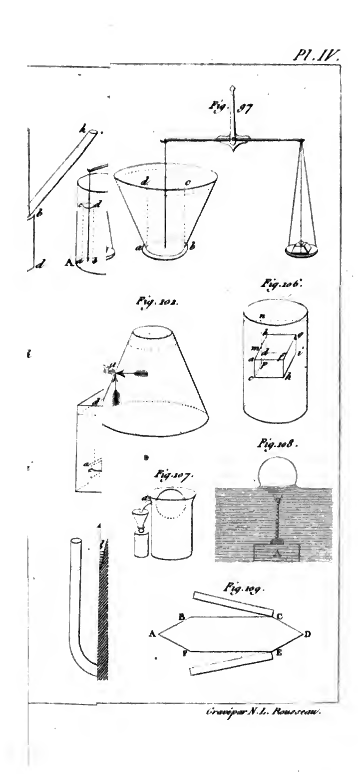
Gravé par N. L. Rousseau.





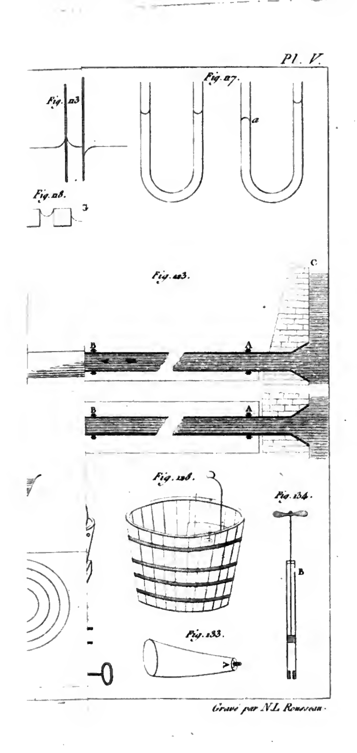
Gravé par N.L. Rousseau.



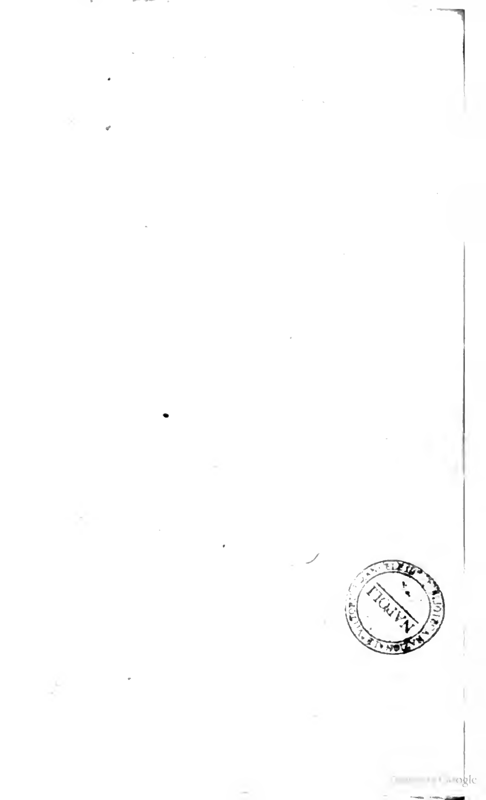


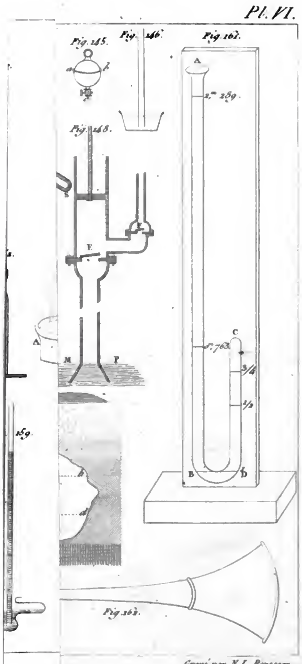
Gravé par N. L. Rousseau.





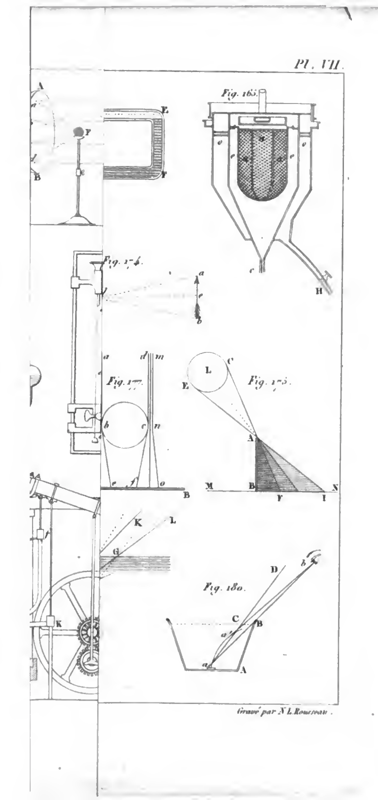
Gravé par N.L. Rousseau.



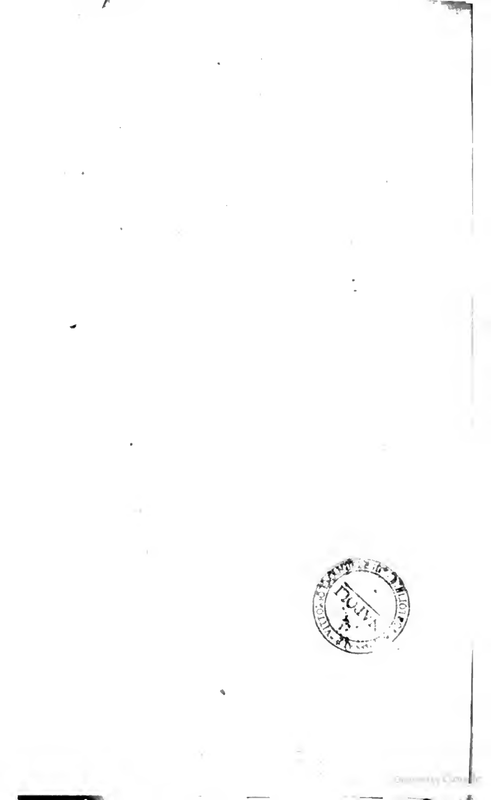


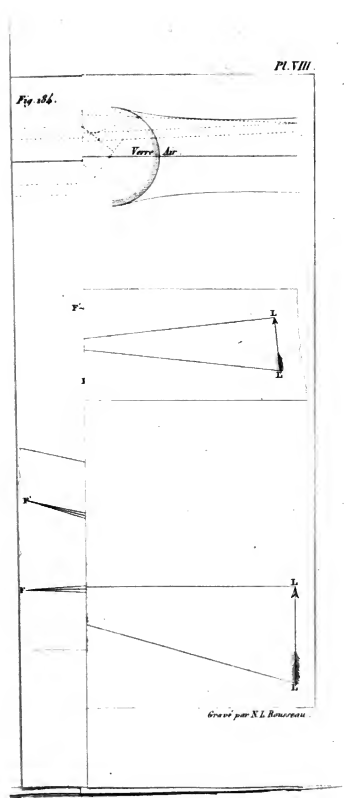
Gravé par N. L. Rousseau.





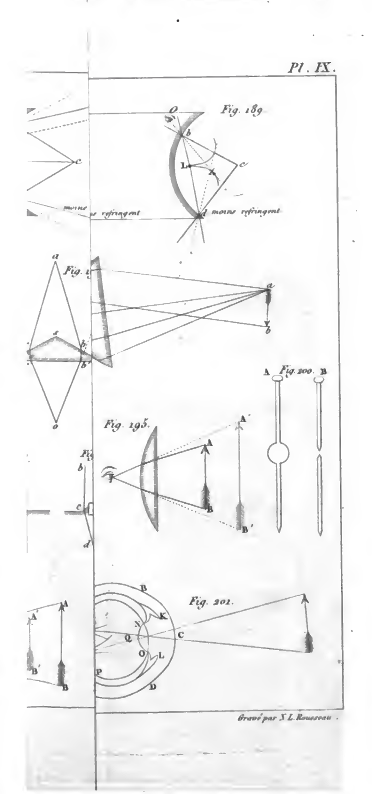
Gravé par N. L. Rousseau.





Gravé par N. L. Rousseau.




Fig. 189.
moins refringent
moins refringent
Fig. 195.
Fig. 200.
Fig. 201.
Gravé par S. L. Rousseau.

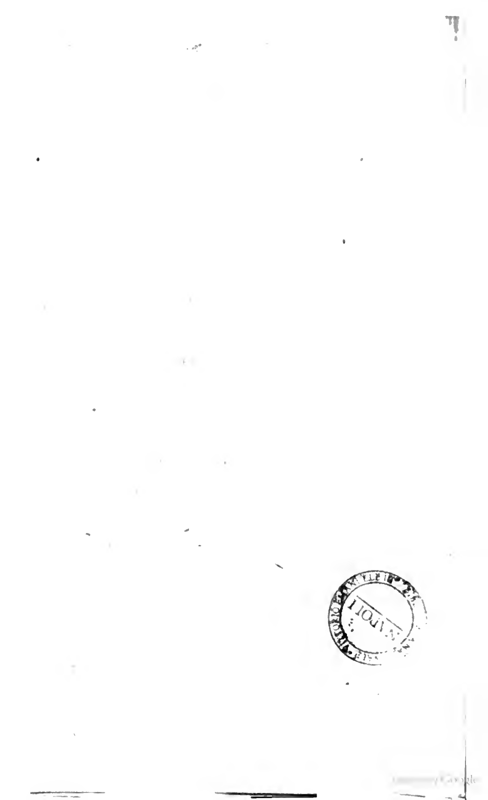
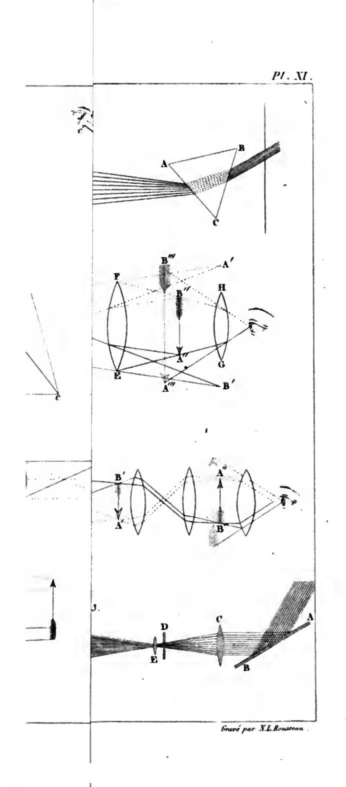


Fig. 215.

Fig. 216.

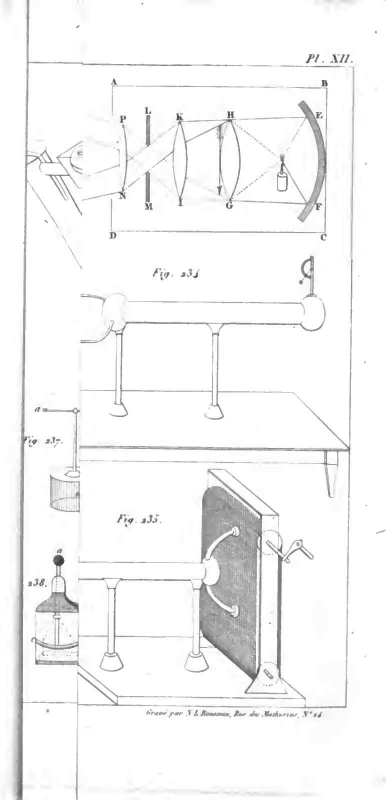
Gravé par N. L. Rousseau.





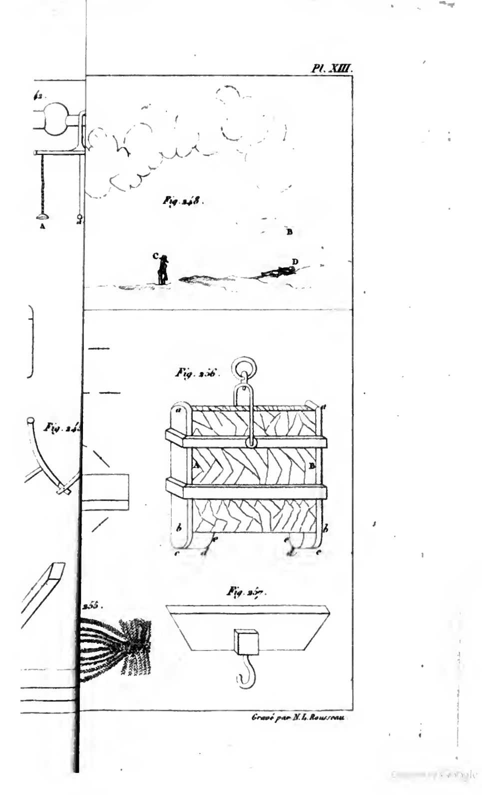
Gravé par N.L. Rousseau.


NAPOLI



Gravé par N L Rousseau, Rue des Mathurins, N° 24




Pl. XIII.
Fig. 248.
A
B
C
D
Fig. 256.
a
A
B
b
c
d
e
Fig. 257.
Gravé par N. L. Rousseau.

